





BOOKS  
CAB INTERNATIONAL  
MYCOLOGICAL INSTITUTE  
LIBRARY

IMI / Books / RAV ✓









---

# LE MILDIOU

---

## OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

---

- Les Vignes américaines, Porte-greffes et Producteurs directs, Caractères et Aptitudes.** L'ouvrage est imprimé sur beau papier couché, illustré de 433 reproductions photographiques de feuilles, sarmentis et raisins, forme un splendide volume in-14 de 400 pages.  
Prix : broché..... 20 fr.
- Influence de la Surproduction sur la végétation de la vigne.**  
Une brochure grand in-8, avec figures. 1906. Prix..... 1 fr. 50
- Taille hâtive ou Taille tardive.** Une brochure in-8. 1912. 0 fr. 60
- Les Conditions de développement du Mildiou de la vigne**  
(Recherches expérimentales). Une brochure in-8 illustrée. 1912.  
Prix ..... 1 fr.
- L'Effeuilage de la vigne.** Une brochure in-8, avec figures. 1912,  
Prix ..... 1 fr.
- Recherches sur le Rognage de la vigne.** Une brochure in-8,  
avec figures. 1912. Prix..... 1 fr.
- La Brunissure de la vigne.** Un volume in-8 écu, avec figures originales dans le texte et 3 planches doubles en couleurs hors texte.  
Prix..... 3 fr.
- Recherches sur la Culture de la vigne.** I. Culture superficielle.  
II. Influence de la couleur du sol sur la végétation et la fructification. Une brochure in-8. 1909. Prix..... 1 fr.
- Influence des Opérations culturales sur la végétation et la production de la vigne.** Une brochure in-8. 1909. Prix... 1 fr.
- La Culture superficielle de la vigne.** 2<sup>e</sup> édition. Un volume in-8, avec 18 figures. (En collaboration avec M. L. DEGRULLY). Prix. 3 fr.
- Contribution à l'étude du Rougeot de la vigne.** Une broch. in-8, avec une planche en chromo. (En collaboration avec M. L. Roos).  
Prix..... 0 fr. 75
-

# TRAITÉ GÉNÉRAL DE VITICULTURE

III<sup>m</sup>e PARTIE — TOME III

---

# LE MILDIOU

CARACTÈRES, CONDITIONS DE DÉVELOPPEMENT  
TRAITEMENT

PAR

**L. RAVAZ**

PROFESSEUR DE VITICULTURE

DIRECTEUR DE LA STATION DE RECHERCHES VITICOLES A L'ÉCOLE NATIONALE D'AGRICULTURE  
DE MONTPELLIER



MONTPELLIER

COULET ET FILS, LIBRAIRES-ÉDITEURS

5, GRAND'RUE, 5

PARIS

MASSON ET C<sup>ie</sup>, LIBRAIRES-ÉDITEURS

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 120

—  
1914





# LE MILDIOU DE LA VIGNE

---

## HISTORIQUE

---

EN AMÉRIQUE. — LE MILDEW ou MILDIOU ne paraît pas avoir toujours été distingué en Amérique de l'Oïdium et du Black-rot, et son nom a dû désigner souvent l'une ou l'autre de ces maladies et même toutes les trois à la fois. Les écrits des viticulteurs américains, s'ils nous en font pressentir l'ancienneté ne l'établissent pas d'une manière très sûre. Il faut arriver à 1834 pour avoir des preuves précises. C'est à cette date que le botaniste Schweinitz découvrit le champignon parasite qui la produit ; il l'assimila, inexactement d'ailleurs, au *Botrytis Canna* LK (1). Et sur ce point, il n'y a aucun doute : M. le docteur Farlow a pu établir, sur des échantillons d'herbier de la collection Curtis, l'identité du *Botrytis Canna* et du *Peronospora viticola* (Berk et Curtis) de By.

Depuis, il a été observé, récolté ou décrit par Ravenel (2) en 1848, par Caspary en 1853 (3), par Sprague en 1858 (4). De Bary le décrit avec la plus grande exactitude en 1863 (5). M. Ch. H. Peck (6) le signale en 1869 dans l'État de New-York et Plan-

---

(1) *Synopsis fung. Am. boreal*, 2663, n° 23.

(2) RAVENEL. *Fungi Caroliniani exsiccati*, Fasc. v. n° 90.

(3) CASPARY. *Monosber. der Berliner akademie*, 1853.

(4) SPRAGUE. *Proceed. Bost. Soc. Nat. Hist.* 1858,

(5) DE BARY. *Ann. Soc. Nat. Bot.*, tome XX.

(6) CH. H. PECK. *Twenti. third Report of the New-York State Botanist.* 1869.

chon, en 1873 (1) : « Je citerai, dit-il, parmi ces cryptogames (qui amènent le rabougrissement de certaines variétés) celle qu'on pourrait appeler le *faux-oïdium*, le *mildew* des américains, le *Peronospora viticola* des botanistes. Elle se présente comme une sorte de moisissure d'un blanc un peu hyalin, étendue en couche mince et par taches irrégulières à la face inférieure des feuilles ». En 1876, M. Frost (2) le signale encore, et c'est aussi en 1876 que M. le docteur Farlow lui consacre un mémoire du plus haut intérêt (3). La diagnose du champignon, très courte, mais très précise, est accompagnée de la note suivante : « Commun dans les États de l'Atlantique et du Centre sur *V. Labrusca* L., *V. Aestivalis* Michx., *V. Cordifolia* Michx., *V. Vulpina* L. et leurs variétés cultivées ».

La maladie existait certainement avant la découverte de Schweinitz et on peut légitimement lui attribuer une partie des dégâts qui ont rendu de tout temps impossible la culture de la vigne européenne dans les États de l'Amérique du Nord.

EN FRANCE. — L'existence du Mildiou en Amérique et l'importance de ses dégâts étaient donc connus depuis longtemps des botanistes européens, sinon des viticulteurs. Dès lors, « on devait s'attendre à le voir d'un jour à l'autre faire son apparition dans nos vignobles » (4). Et Cornu, dès 1872, signale le danger que ce nouvel ennemi peut faire courir à la viticulture française. Dans un mémoire publié au *Recueil des savants étrangers*, il écrit : « On doit cependant signaler un danger dans l'introduction trop précipitée des cépages américains, danger grave et redoutable, et dont personne ne se préoccupe jusqu'ici. Les vignes américaines, les *V. Labrusca* et *Aestivalis*, sont attaqués dans leur patrie par un champignon parasite, le *Peronospora viticola* ; il appartient au même genre que celui qui a, pendant

(1) PLANCHON. *Les vignes américaines, leur culture*. Montpellier 1875.

(2) FROST *Tuckerman's Catalogue of plants hittrin thirty miles of Amherst Coleige*, 1875.

(3) W. G. FARLOW *on the american grape-vins mildew* 1876.

(4) PLANCHON. *C. R.*, octobre 1879.



plusieurs années, si gravement atteint la culture des pommes de terre.

« Les vignobles de l'Amérique sont sujets à plusieurs sortes de maladies mal décrites encore et mal connues et différentes de celles qui attaquent les nôtres. La plus à craindre semble être le *Peronospora*, qu'on n'a pas encore pu combattre avec succès. Je me permets de signaler ce danger, dussè-je passer pour un pessimiste (1) ».

En 1879, il insiste encore sur ce danger. « Nous devons reporter notre pensée et nos craintes vers un autre parasite bien plus redoutable : le *Peronospora* de la vigne, sur lequel j'ai attiré l'attention, dès l'année 1873, et que l'introduction inconsiderée des plants américains nous amènera peut-être (2). »

La maladie était déjà chez nous, ayant été découverte en 1878 presque simultanément par Planchon (3) et par Millardet, sur des feuilles de Jacquez et de diverses variétés de V. Vinifera.

A cette date, elle existe déjà dans presque tous nos vignobles. Planchon reçoit des feuilles malades du Sud-Ouest, de l'Ouest, de l'Est de la France. Il la trouve aussi aux environs de Montpellier. M. le Dr R. Pirotta la signale la même année en Italie. On la trouve l'année suivante en Espagne, puis en Allemagne, en Grèce, en Algérie. Elle s'étend donc avec une rapidité prodigieuse et bientôt elle existe presque partout où la vigne est cultivée.

ORIGINE. — D'après Pulliat, le Mildiou aurait existé de tout temps en Europe. Il l'assimile au *Melin* des vignobles de l'Est de la France et au *Melthau* des vignobles de l'Allemagne. Il peut paraître étrange qu'une maladie assez grave pour dépouiller les vignes de leurs feuilles et détruire la récolte soit passée inaperçue ; car des dommages aussi importants que ceux que l'on connaît maintenant devaient retenir l'attention des

---

(1) M. CORNU. *Loc. cit.*, t. XXII, page 34.

(2) M. CORNU. Même recueil, 1879.

(3) G. + E. PLANCHON. Le Mildiou ou Faux-oïdium américain dans les vignobles de France. (C. R., 6 octobre 1879).

vignerons. Or, on ne trouve nulle part mention de rien de semblable. Si elle avait existé depuis longtemps en Europe, elle n'aurait certainement pas échappé à l'attention des observateurs, qui du reste la recherchaient. « Les feuilles des vignes, dit Cornu, ont été spécialement examinées avec un grand soin de 1872 à 1878 pour la recherche des galles phylloxériques, si rares sur les cépages européens et dont j'ai signalé des exemples le premier, depuis M. Planchon (en 1869). Plus tard, enfin, l'observation des phylloxeras ailés sur les feuilles exigea un examen très attentif. Je suis donc en droit d'affirmer que si le *Peronospora viticola* avait existé d'une manière un peu générale dans le Midi, de l'Hérault aux Charentes, pendant les années 1872-1878, comme aujourd'hui, il ne m'aurait probablement pas échappé ; je connaissais la plante pour en avoir vu des échantillons desséchés dans des herbiers du Muséum d'histoire naturelle et pour en avoir reçu de mon ami le Dr Farlow et de mon ami, M. le Dr M. C. Cooke, auxquels je les avais spécialement demandés et j'avais mis une sorte de point d'honneur à le rechercher. Les lignes qui précèdent démontrent sans réplique que le *Peronospora viticola*, demeuré inconnu malgré les recherches des spécialistes, malgré les observations précises d'un grand nombre d'intéressés, est bien et dûment d'origine américaine et son arrivée est récente sur notre sol (1) ».

Cette conclusion est généralement acceptée maintenant. Cependant, on lit dans un rapport sur l'exposition des raisins de vigne de l'Hegyalla (Hongrie) à Saros-Patak, des 12-17 septembre 1846, le curieux passage qui suit :

« La discussion sur la différence entre l'effet des brouillards et la brûlure ou rouille présenta beaucoup d'intérêt lors de l'exposition des raisins.

» La comparaison suivante fera comprendre cette différence :

» L'effet des brouillards est le même que si le cep avait été soumis à l'action des vapeurs brûlantes sortant d'une chaudière,

---

1) M. CORNU. *Le Peronospora des vignes*, 1882, page 8.

L'humidité et les vapeurs dont la présence dans l'air a précédé le phénomène, doivent être regardées comme en étant la condition essentielle. La brûlure, au contraire, semble faire croire que le cep a été brûlé par la voie sèche comme par des verres ardents. L'étymologie hongroise des mots par lesquels ces phénomènes sont désignés semble venir à l'appui de ces explications. Ainsi, le brouillard s'appelle en hongrois *öböl*, mot synonyme de concave ; *öhlösodeny*, en hongrois, désigne un vase concave appelé en Allemagne *napf*, à Vienne *weidling*, c'est-à-dire un vase dans lequel un liquide s'évapore facilement. L'*öböl* se montre de préférence dans les vignes adossées à la montagne et qui sont comme renfermées dans une chaudière. Dans les pays plats et tout à fait unis on le voit plus rarement, du moins jamais il n'y produit des effets aussi désastreux que dans la montagne. L'*öböl* est appelé en Hongrie *hò*, qui signifie proprement chaleur. Son apparition n'a lieu que si, après une humidité qui a duré quelque temps, les vapeurs pernicieuses se forment sous l'influence d'une chaleur subite et si, par la continuité de cette chaleur, l'effet produit par ces brouillards augmente au point qu'à la fin le règne végétal paraît comme frappé d'apoplexie, phénomène qui entraîne à sa suite la coloration des feuilles en rouge ou en jaune, et enfin leur chute complète, comme à la fin de l'automne ; les fleurs, et même, à une époque plus reculée, les petites grumes elles-mêmes se détachent et tombent. L'*öböl* exerce ses plus grands ravages à l'époque de la fleur ; c'est précisément à ce moment qu'il nous a visités cette année (1846). Ordinairement, son action s'étend sur toute la contrée, mais les effets qu'il produit ne sont pas partout les mêmes sur les divers cépages. C'est ainsi, par exemple, que cette année la variété appelée raisin blanc, qui est du reste d'une qualité supérieure, fut la plus maltraitée ; c'est un cépage qui est toujours plus exposé au danger que tout autre. Dans ma nomenclature il est inscrit au n° 2 (1). »

---

(1) X. Rapport sur l'exposition des raisins des vignes de l'Hegyalla (Hongrie). — La Bourgogne.



J'ai examiné, de mon côté, les échantillons de vigne conservés en herbier à la Faculté des Sciences de Montpellier, et dont quelques-uns remontent à 1845. Je n'ai pu trouver aucune lésion pouvant être attribuée au Mildiou. Il y a donc tout lieu de penser que cette maladie est d'origine américaine et quelle est d'importation plutôt récente.

---

## CARACTÈRES

Le Mildiou attaque tous les organes herbacés de la vigne : feuille, tige, grappe, fleur et fruit ; il n'attaque point les tissus aoûtés. Et sur tous, il produit des altérations qui le caractérisent et que nous allons décrire :

**FEUILLES. LÉSIONS EXTERNES.** — Il atteint les feuilles de tout âge, mais avec une intensité variable. D'après Müller-Thurgau (1), les deux plus jeunes feuilles ne peuvent être contaminées, parce qu'elles ne portent pas de stomates bien ouverts. Les expériences de ce savant semblent, en effet, décisives. A plusieurs reprises, il a tenté l'infection des feuilles qui viennent d'éclore, et voici les résultats qu'il a obtenus :

### INFECTION DES FEUILLES

	Vigne I		Vigne II		Vigne III	
	Nombre des cercles infectés	Nombre des infections réussies	Nombre des cercles infectés	Nombre des infections réussies	Nombre des cercles infectés	Nombre des infections réussies
Chasselas. Feuille 1	3	0	8	0	26	0
— 2	13	6	24	9	39	0
— 3	25	15	32	20	54	0
Pinot. Feuille 1	5	5	5	5	12	0
— 2	15	14	10	10	19	0
— 3	19	17	19	19	29	0
Chasselas. Feuille 1	5	0	3	0		
— 2	7	0	6	0		
— 3	11	0	13	7		

(1) MÜLLER THURGAU. Comment la vigne est-elle infectée par le Mildiou ? *Progrès agricole et viticole*, tome II, 1911.

		Vigne I		Vigne II		Vigne III	
		Nombre des cercles infectés	Nombre des infections réussies	Nombre des cercles infectés	Nombre des infections réussies	Nombre des cercles infectés	Nombre des infections réussies
Pinot.	Feuille 1	2	0	6	0		
	— 2	4	0	6	2		
	— 3	6	0	12	4		
Chasselas.	Feuille 1	2	0	3	0		
	— 2	8	0	4	0		
	— 3	14	0	9	7		
Pinot.	Feuille 1	5	0	6	3		
	— 2	9	0	8	6		
	— 3	12	0	10	10		

M. Capus arrive lui-aussi, mais indirectement, aux mêmes conclusions. Cependant, nous avons réussi à plusieurs reprises l'infection des feuilles naissantes encore groupées dans le bourgeon, ainsi que le montre, parmi beaucoup d'autres, l'expérience suivante :

On dépose, à la face inférieure de jeunes feuilles encore accolées au bourgeon, des gouttes d'eau de pluie renfermant des zoospores actives; quelques jours plus tard, des touffes blanches caractéristiques de la maladie apparaissent à l'extérieur.

Au reste, si la plupart des stomates des feuilles naissantes sont encore insuffisamment ouverts pour donner passage au filament germinatif d'une zoospore, il en est cependant quelques-uns qui sont de bonne heure bien constitués et par eux, sans doute, la contamination est possible.

Les jeunes feuilles naissantes sont aussi d'ordinaire très duveteuses et certains ont pensé que ce duvet pouvait être un obstacle à la pénétration des germes. Mais n'existe-t-il pas des variétés à peu près glabres (*Gamay*, etc.) plutôt peu sensibles à la maladie, et des variétés très duveteuses qui la redoutent beaucoup (*Clairette*, etc.) ?

Ce qui peut retarder ou même empêcher l'apparition des taches du mildiou sur les jeunes feuilles, c'est peut-être la vi-



tesse d'accroissement de celles-ci ou la rapide extension de leurs cellules et entrè lesquelles vit le mycelium du *Plasmopara viticola*. L'allongement rapide des cellules exerce nécessairement, sur les filaments mycéliens, une traction qui peut en gêner, mécaniquement du reste, la croissance.

Quoi qu'il en soit, le bourgeon terminal d'un rameau peut fort bien, au moins dans certains cas, être contaminé, ainsi que les feuilles naissantes qu'il porte. Et, quand celles-ci ne paraissent pas atteintes par une invasion, c'est qu'elles n'existaient pas au



Fig. 4. — « Taches d'huile » vues par la face supérieure de la feuille

moment où la contamination s'est produite ; ou bien aussi, c'est qu'étant très petites à ce moment, elles n'auraient pas reçu des germes, qui avaient plus de chances de frapper les feuilles déjà très développées.

C'est néanmoins, semble-t-il, sur les plus jeunes des feuilles atteintes, que les lésions progressent le plus rapidement sous la forme de taches de 5<sup>mm</sup> à 20-30<sup>mm</sup> de diamètre. Pour les voir

apparaître, il faut examiner la feuille par transparence ; elles se révèlent alors par une atténuation de la couleur verte : elles paraissent plus claires ou plus pâles ou bien encore, chez les cépages à raisins colorés, légèrement rouges, tandis que les parties avoisinantes conservent encore leur couleur verte normale..

A cause de leur aspect, ces taches sont appelées « taches d'huile » (fig. 1). Elles se forment quand les conditions extérieures sont peu favorables à la marche rapide de la maladie, c'est-à-dire lorsque l'état hygrométrique ou la température de l'air sont peu élevés, ou encore lorsque ces deux facteurs sont réunis au degré



Fig. 2. — Une large tache d'huile, — c'est la partie la plus fortement teinte, — couvre presque une feuille entière

voulu pendant un temps trop court. Quoi qu'il en soit, elles indiquent une marche lente, au moins momentanée, du parasite dans les tissus de la feuille.

Les cellules en contact avec le parasite tendent nécessairement vers l'épuisement ; cependant, elles peuvent résister long-

temps avant de succomber ; et, de fait, les taches d'huile s'étendent parfois beaucoup en conservant les mêmes caractères. Chez certains cépages, une seule d'entre elles peut finir par occuper toute la feuille sans la détruire (fig. 2).

Si les conditions extérieures deviennent plus favorables, ces taches, jeunes ou vieilles, et quelle que soit leur étendue, se couvrent, à la face inférieure, d'une poudre blanche, sorte de

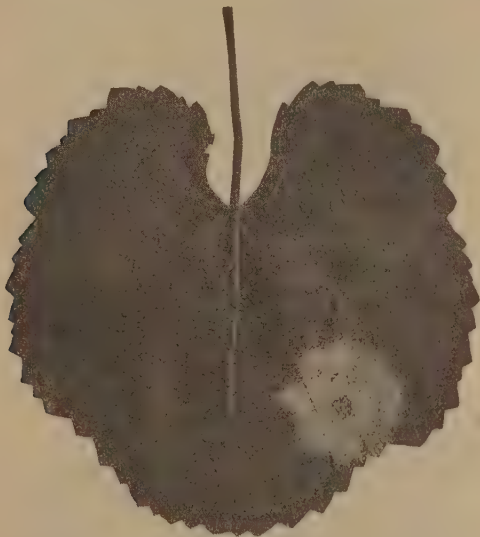


Fig. 3. — Une tache blanche circulaire sous une feuille de *V. Californica*

moisissure, qui est constituée par les tiges, rameaux et semences ou *conidiophores* du *Plasmopara viticola* ; elle est nettement caractéristique du Mildiou ; aucune autre maladie, même l'Eri-nose, n'en produit de semblables.

L'apparition des conidiophores correspond à un état d'activité très grande du champignon, qui épuise et tue alors les cellules de la feuille ; celles-ci brunissent d'abord au centre de la tache puis, de plus en plus près des bords. La destruction des tissus porte bientôt sur toute la tache qui se troue ou se déchire ; en

même temps, les conidiophores se dessèchent, ils disparaissent en partie ou en totalité car ils ne peuvent vivre que sur les tissus encore eux-mêmes vivants.

Enfin, dans quelques cas, les conidiophores blancs apparaissent sur la feuille sans être précédés d'une « tache d'huile » et même sans tuer tout d'abord les cellules de l'hôte ; ce n'est que plus tard que celles-ci meurent en formant des plaques rousses.

Ces lésions s'accroissent souvent très vite. Si le temps est favorable, en un ou deux jours elles peuvent couvrir une surface de 2-3 centimètres et plus de diamètre. Elles sont plus ou moins irrégulières, les nervures en modifiant la marche ; mais où la structure de la feuille est homogène, elles prennent d'ordinaire un contour circulaire (fig. 3).



Fig. 4 — Feuille avec de nombreuses taches blanches en-dessous

Leur nombre varie (fig. 4), bien entendu, avec l'intensité et le rang de l'invasion. La première invasion ne forme que quelques taches, par exemple une pour dix feuilles. Les deuxième, troisième-

me, quatrième,... en produisent d'autant plus, qu'elles sont de rang plus élevé. Le nombre des taches croîtrait comme les termes d'une progression géométrique à raison très élevée, si leur surface (et par suite le nombre des semences qu'elles portent)



Fig. 5 — Taches isolées localisées sur le pourtour

restait constante. Mais il n'en est pas ainsi. Elles vont en diminuant d'étendue à mesure qu'elles deviennent plus nombreuses ou qu'elles se forment sur des feuilles plus âgées. Il s'en suit que si la durée du feuillage était indéfinie, le nombre des lésions finirait par être constant ; la surface des dernières formées serait nulle et, par conséquent, le nombre de germes formés deviendrait égal à zéro.

Mais la sensibilité des feuilles varie. Après avoir été pendant un certain temps un peu réfractaires à la maladie, elles lui redevennent favorables, et semble-t-il, au moment où elles se dépouillent, par *migration*, de leur contenu normal, c'est-à-dire quand elles prennent la teinte d'automne. Des feuilles chez les-



quelles la migration du contenu est arrêtée par l'incision annulaire, par exemple, ou par toute autre cause, restent peu sensibles aux manifestations tardives de la maladie (vignes incisées, court-nouées, vignes atteintes de rougeau, ou ayant peu produit).

Entre les dimensions extrêmes citées plus haut, il y a nécessairement une foule de cas intermédiaires (fig. 6). Les taches les plus petites sont celles qui se produisent à la fin de la végétation sur les feuilles âgées. Elles ne mesurent quelquefois que 1 ou 2 millimètres de côté, le contour en est polygonal.



Fig. 6. — Mildiou d'automne, taches blanches disposées sur tout le long des nervures

Elles sont d'ordinaire très nombreuses, côte à côte et comme elles n'ont pas toutes le même âge, elles n'ont pas non plus la même coloration. Les unes sont vertes, les autres vert-jaune, jaune-pâle, ou jaune-brun, d'autres encore brunes, etc., et elles donnent à la feuille l'aspect d'une *mosaïque* (fig. 7). C'est la forme de mildiou que j'ai appelée *mosaïque* et M. Cornu *point de tapisserie*. Rien ne prouve cependant que cet aspect soit toujours dû à la multiplicité des taches. Une seule tache peut sans doute présenter cette variété d'aspects. Il suffit pour cela que le mycé-

lium se développe très inégalement et cela peut très bien se produire comme on le verra plus loin.

« Le mycelium du *Peronospora viticola*, dit M. Cornu, est tel, qu'il ne peut, pas plus que les autres espèces de *Peronospora*,



Fig. 7. — Taches en mosaïques, vues par la face supérieure de la feuille

émettre des filaments au travers des cellules entre lesquelles il rampe sans pouvoir les traverser.

» Dans le jeune âge de la feuille, les parois sont minces et molles, le mycelium peut les disjoindre ou tout au moins les refouler ; dans la feuille adulte, au contraire, les membranes sont plus dures, plus résistantes (1) ».

Comme les mailles polygonales de parenchyme sont inégalement défendues par les nervures qui les encerrent, elles sont envahies à des époques différentes : de là, la couleur variée qu'elles présentent et, par suite, la forme *mosaïque*.

Les lésions étendues des jeunes feuilles ont une gravité variable. Quand elles n'intéressent que les nervures d'ordre très élevé, elles ne causent la mort que des parties sur lesquelles elles se sont développées. Elles sont plus graves quand elles se forment près du point pétiolaire. Une seule tache intéressant la base des nervures principales entraîne la mort de toute la feuille ou d'une partie.

Les taches en mosaïque amènent la chute anticipée des feuilles qui les portent, ou leur épuisement ; elles peuvent donc nuire aussi à la maturité du fruit et même du bois.

**BOURGEONS.** — Les bourgeons, au printemps ou pendant l'été, c'est-à-dire tant qu'ils sont entourés d'écaillés vertes et tendres, peuvent être atteints directement par la maladie. Ils brunissent et portent quelquefois, entre leurs écaillés, des conidiophores. Souvent aussi, ils sont contaminés par le nœud qui les porte ou par le pétiole. Quant aux conidiophores, ils apparaissent ou non à leur surface suivant les conditions de milieu.

**RAMEAUX.** — Les rameaux sont atteints sur les nœuds ou dans leur voisinage. Le milieu du mérithalle est rarement envahi. Pourquoi ? C'est que le plus souvent la maladie procède du pétiole ou du bourgeon et ne peut pénétrer dans la tige qu'au niveau des nœuds. C'est aussi que les nœuds sont formés de tissus qui restent tendres ou jeunes fort longtemps et s'accroissent encore, alors que ceux du milieu du mérithalle ont

---

(1) MAX CORNU. *Loc. cit.*

depuis longtemps leur état définitif. La réceptivité d'un méristhale va donc en diminuant des extrémités vers le centre.



Fig. 8. — Rameau et grappe atteints par le Mildiou. Les conidiophores blancs recouvrent quelques points de la tige du rameau et presque toute la grappe inférieure. Tige courbée en crosse.

Quoi qu'il en soit, les lésions des rameaux ne présentent pas les mêmes caractères que celles des feuilles. La décoloration qui

précède la mort des tissus n'est pas apparente : la maladie se révèle lorsqu'elle est déjà ancienne, c'est-à-dire lorsque les tissus internes sont morts. Ici, la coloration est d'un brun foncé, presque noir, avec des reflets bleuâtres, franchement livides. Il est fort rare que la moisissure blanche du dessous des feuilles se montre sur les parties altérées. Peut-être est-ce parce que le sarment est toujours plus sec que la feuille, car on la fait apparaître en plaçant les organes malades sous cloche, dans une atmosphère très humide. Mais la rareté des conidiophores sur le sarment tient aussi à la rareté des stomates. Vient-on à créer des fissures à travers l'épiderme, aussitôt ils apparaissent très nombreux.

Ces fissures sont quelquefois produites par le Mildiou lui-même. Tel est le cas que nous présente la fig. 8. Et voici comment : Le *Plasmopara viticola* vit plutôt à la surface des tissus et dans l'écorce ; il est rare dans le bois ou dans la moelle. Et dans sa marche superficielle, il ne progresse pas dans toutes les directions avec la même rapidité. En longueur, suivant l'axe, son développement est rapide, et cela se conçoit car les tissus lui fournissent, dans cette direction, des chemins faciles à parcourir. En largeur, il s'accroît peu, car les tissus lui opposent des barrages importants. Il s'en suit qu'il reste longtemps confiné sur un côté du rameau, qu'il peut occuper sur une grande longueur, tandis que l'autre côté est indemne.

Or, ici encore, comme dans la feuille, le *Plasmopara viticola* ne tue pas toujours immédiatement les cellules avec lesquelles il est en contact. Son action est plus lente et elle se traduit tout d'abord par un développement plus considérable des cellules atteintes. Avant de tuer les tissus, il en hâte parfois la croissance ; et alors on conçoit que le côté du rameau qui porte le parasite s'allonge plus vite que le côté sain : d'où la courbure vers ce dernier, puis le redressement de la partie terminale saine, finalement la courbure en S ou en crosse.

Pour que les choses se passent ainsi, il faut nécessairement que le champignon agisse sur des organes non encore lignifiés, mais jeunes et en pleine croissance, dont le développement puisse être encore modifié. L'Aramon, qui durcit très vite ses



tiges, porte rarement des rameaux recourbés en S. Il en est autrement du Carignan, par exemple, du Grenache, dont les tiges restent si longtemps tendres et comme gorgées d'eau, etc...

Les couches superficielles de l'écorce finissent par être profondément altérées. L'assise génératrice, par contre, reste plus longtemps saine ; elle continue de produire de nouveaux tissus qui, en pressant contre les couches superficielles altérées, en amènent la rupture. Par ces ouvertures, les conidiophores peuvent librement sortir au dehors.

Ces fissures sont parfois assez importantes, surtout lorsque la maladie a débuté de bonne heure, et elles persistent sur les sarments aoûtés (fig. 9).

Les rameaux atteints se désarticulent assez souvent au niveau des nœuds ; ils deviennent aussi plus cassants et des coups de vent un peu violents ou des chocs en amènent la destruction.

**VRILLES.** — Les vrilles sont assez fréquemment atteintes ; le mal débute tantôt au sommet de chaque ramification, tantôt au point de bifurcation, où se trouve, du reste, une écaille qui doit être facilement contaminée. Tantôt aussi, les vrilles brunissent sans se couvrir de poudre blanche, tantôt elles en portent quelques touffes peu apparentes.

**GRAPPES.** — Les grappes sont atteintes sur les pédoncules, les pédicelles, les bourrelets, les fleurs et les grains. Les pédoncules sont fréquemment directement contaminés en un point quelconque ; le parasite chemine ici comme dans la tige, plutôt superficiellement et plus rapidement en long qu'en travers. Il tend donc à rester localisé



Fig. 9. — Crevasses à la base d'un sarment aoûté et produites par le Mildiou.

sur un côté du pédoncule, dont il peut hâter l'allongement et amener la courbure en S (fig. 10).



Fig. 10.— Rameau avec grappes recourbées en S. Sur la courbure, conidiophores du Mildiou

Les fructifications blanches du champignon existent ou non à l'extérieur ; tout dépend de l'humidité de l'atmosphère et de la

teneur en eau du pédoncule. Il se produit aussi des fissures dans les couches corticales extérieures et dans lesquelles les conidiophores du champignon se forment quelquefois en quantité considérable ; en tout cas, ils apparaissent au dehors moins facilement que sur les feuilles et toujours avec un retard qui est d'autant plus grand que le pédoncule est plus lignifié, c'est-à-dire plus âgé et plus sec.

Le brunissement extérieur des écorces malades n'a rien de bien spécial. Un examen superficiel des altérations ne suffit généralement pas pour nous renseigner sur la cause qui les a produites. En déchirant l'épiderme avec l'ongle, les tissus malades ont la couleur brune et l'aspect des tissus qui *pourrissent*. Enfin, la mise en chambre humide et, au besoin, le microscope, lèvent tous les doutes.

L'altération peut gagner tout le pourtour du pédoncule et sur une longueur souvent considérable. Les communications sont alors coupées avec le sommet de la grappe, qui se dessèche et tombe. Ce cas est surtout fréquent chez les grappes envahies de bonne heure.

Les pédoncules sont envahis par la maladie tant qu'ils sont tendres. Or, les uns se lignifient de bonne heure : Carignan, Folle, etc. ; les autres : Aramon, etc., restent verts et tendres très longtemps. La réceptivité des uns et des autres a donc une durée très différente. Les premiers ne sont sensibles à la maladie que dans leur jeune âge ; les seconds le redoutent presque jusqu'à la véraison.

La lignification de l'axe de la grappe ou de la rafle suit la lignification du pédoncule ; elle n'atteint que très rarement le sommet de la grappe, aussi le Mildiou peut-il envahir cet axe très tardivement et causer des dégâts appréciables.

En tout cas, il reste vivant dans les diverses ramifications du pédoncule, même pendant la véraison ; ses dégâts se continuent donc jusqu'à la vendange.

Les pédicelles sont eux aussi atteints directement. Les caractères des lésions qu'ils portent sont les mêmes que celles du pédoncule, avec cette différence que s'accroissant toujours len-

tement, ils ne se crevassent point ; à l'intérieur, ils présentent l'aspect des tissus pourrissants ; à l'extérieur, leur couleur est d'un brun livide, comme celle du pédoncule, des vrilles et des tiges. Enfin, quelquefois, ils se couvrent de touffes blanches. Ils contaminent fleurs et grains, et même le pédoncule.

Lès fleurs, les corolles, le calice, sont également envahis. Tantôt, ils brunissent, sèchent et tombent ; tantôt, ils se couvrent



Fig. 11. — Fleur couverte de conidiophores

de touffes blanches (fig 11).

Dans les cas graves, les grappes de fleurs (fig. 8) apparaissent comme entièrement saupoudrées de chaux.

Dans la fleur, l'ovaire ne prend pas directement la maladie, car il est protégé par la corolle ; il est contaminé par le pédicelle ou le bourrelet. Il brunit le plus souvent en pourrissant, mais il porte aussi quelquefois des fructifications du champignon.

**LES GRAINS.** — Après la floraison, l'ovaire devenu grain n'est plus protégé par la corolle.

Il pourrait donc, semble-t-il, être contaminé directement. Il n'en est rien. Ne portant pas de stomates, il est à l'abri de toute attaque directe. Il n'en est pas moins souvent détruit. C'est qu'il a été contaminé par le pédicelle ou le bourrelet.

Il est d'autant plus fortement endommagé qu'il est plus jeune. A partir de la véraison, il semble entièrement réfractaire à la maladie ; sans doute le sucre qui s'accumule dans les tissus s'oppose à la croissance du champignon.

La maladie s'y manifeste sous deux aspects. Les parties envahies ont nécessairement une coloration brune, qui est plus ou moins visible suivant qu'elles sont plus ou moins rappro-

chées de la surface. Celles qui sont situées profondément, paraissent être d'un brun-verdâtre ; les superficielles sont d'un brun plus foncé, quelquefois bordées de rouge. Les unes et les autres peuvent conserver cet aspect : la maladie est alors appelée *rot brun* (*brown-rot*, pourriture brune), ou bien elles se couvrent elles aussi de la même moisissure blanche qui tapisse le dessous des altérations des feuilles, et le Mildiou devient alors le *rot gris* (*grey-rot*, fig. 12). Le *rot gris* est le Mildiou des grains

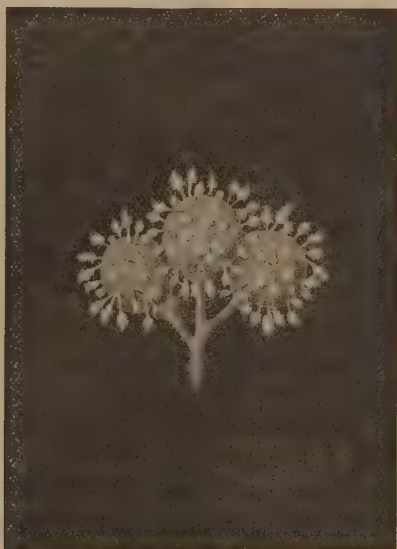


Fig. 12. — Grains de raisins couverts de conidiophores (*Grey-rot*)

jeunes et des temps très humides. Le *rot brun* est le Mildiou des grains déjà gros et des temps secs. Au fond, cette distinction n'a pas de raison d'être : il n'y a pas lieu non plus de désigner par le nom de *Rot* la maladie des grains. Le nom de Mildiou doit être appliqué à toutes les manifestations du mal.

Les altérations de la forme *Rot brun* présentent une grande analogie avec celles appelées *coup de pouce*, *grillage*, etc., et qui sont dues à d'autres causes. Pour les distinguer, le plus sûr est d'examiner les tissus malades au microscope. Mais on peut



quelquefois aussi se contenter d'un examen plus sommaire : les tissus internes altérés sont d'un brun-foncé, comme *pourris* ; les tissus des grains grillés, etc., sont brun-rouge.

Les grains atteints (fig. 13) se dépriment par places, se



Fig. 13. — Grappes dont beaucoup de grains sont déprimés et brunis par places (*Rot-Brun*)

flétrissent et tombent avec la grappe qui les porte, mais souvent aussi, surtout lorsque la saison est un peu avancée, ils tombent isolément en se séparant du pédicelle qui les porte ; un choc, même léger, suffit pour en provoquer la chute ; ils se dépriment, brunissent de plus en plus, et tombent en se détachant de leurs pédicelles.

Tels sont les caractères extérieurs du mildior. La forme, la

couleur, l'importance des altérations peuvent ne pas lui être spéciales. Des causes très différentes produisent parfois des lésions semblables. Seules, par conséquent, elles ne peuvent constituer



Fig. 14. — Grappe en partie détruite

que des présomptions. Mais la présence de la moisissure blanche est tout à fait probante. C'est elle qui produit le mal, elle ne vient jamais après coup. Seulement, comme on l'a vu, elle n'existe pas toujours à l'extérieur, mais il est toujours facile de la faire apparaître, ou d'établir la présence du mycélium dans les tissus altérés.

---

## DÉGATS

---

FEUILLES. — Les feuilles atteintes, si elles ne portent que quelques taches, ne souffrent pas beaucoup de la maladie : la



Fig. 15. — Souche dépouillée de ses feuilles et de ses grappes  
par le Mildiou

réduction de la surface d'assimilation est, en somme, peu considérable. Mais si les taches sont très nombreuses, il n'en est plus

de même, surtout si quelques-unes d'entre elles occupent le point pétioleaire ou la base des principales nervures : les communications sont coupées avec le limbe ; et la feuille tombe en se séparant du pétiole.



Fig. 16. — Souche envahie surtout sur les grappes

La chute anticipée de la feuille peut être due aussi à l'épuisement de ses tissus par la multitude des altérations élémentaires qui constituent la mosaïque. Encore ici, le limbe se sépare du pétiole, qui peut rester plus ou moins longtemps adhérent au sarment.

Mais les dégâts du Mildiou se traduisent par la destruction des organes ou de portions d'organes sur lesquels il se déve-

loppe : chute des feuilles ou de portions de feuilles. Les vignes très atteintes sont quelquefois entièrement effeuillées (fig. 14). — Il y a souvent aussi chute de portions de sarments, de grappes (fig. 15) ou de grains, coulure des fleurs.

La chute des feuilles, quand elle est hâtive et complète, correspond à la disparition totale de la récolte : les raisins n'étant plus nourris et étant eux-mêmes malades, se flétrissent et sèchent. Quand elle est tardive, elle peut encore avoir pour conséquence la disparition des grappes ou des grains, mais alors elle se traduit surtout par des modifications dans la composition des moûts, une diminution de la richesse alcoolique, de la couleur, du bouquet des vins.

MOUT. — Les modifications de la composition des moûts a été mise en évidence par M. Manceau (1). L'analyse de moûts de vignes très éprouvées par la maladie et de moûts de vignes bien défendues, lui a donné les chiffres suivants :

*Analyse des moûts de cuvée*

	Parcelle mildiouée	Parcelle saine
	grammes	grammes
Sucre par litre.....	155,40	172,70
Acidité totale.....	12,20	11,10
Extrait à 100°.....	193,25	217,95
Cendres.....	2,870	3,250
Acide phosphorique ( $P^2O^5$ )..	0,298	0,245
Potasse ( $K^2O$ ).....	1,255	1,274
Azote total.....	1,470	1,274
Azote ammoniacal.....	0,162	0,164

De ces analyses, il résulte, dit M. Manceau : « Que le moût de la vigne mildiouée est nettement moins sucré et plus acide que le moût de vignes sulfatées. Il renferme aussi beaucoup moins de « non sucre » : 37 gr. 85 contre 45 gr. 25, « mais le caractère saillant des moûts mildiousés nous paraît être leur richesse

(1) MANCEAU. In *Bulletin Moût et Chandon*.



exceptionnelle en matières azotées, dites albuminoïdes, ne donnant pas d'ammoniaque par distillation avec la magnésie ».

Les raisins restés verts ou à moitié mûrs et peu sucrés, ne peuvent donner de bons vins.

VINS. — Les vins provenant de vignes mildiousées, comme les raisins et les moûts ont généralement une constitution défectueuse qui modifie l'allure du vieillissement et la résistance aux maladies microbiennes ou autres. D'abord, d'après M. Manseau, « quoique plus acides que les vins normaux, ils renferment moins d'acide tartrique libre : 0,15 contre 1,02, dont le rôle dans la conservation du vin est considérable, tant contre le « jaune » que contre la graisse ». Ils sont aussi mieux pourvus d'aliments pour les germes des maladies ; ils renferment en abondance des matières azotées, des phosphates, des sels de potasse.

Aussi, de tels vins sont-ils fréquemment atteints : les blancs de la maladie de la graisse, du « jaune », du « bleu », et les rouges de la Tourne.

M. Gayon a montré que les vins dits « mildiousés » étaient très sujets à la maladie de la Tourne.

Voici un autre exemple qui montre combien est modifiée la nature des produits de la vigne mildiousée : « Mes greffes de Castets, écrit en 1885 M. Maurice Lasserre à la *Vigne américaine*, ont encore quelques feuilles, mais quels tristes vins que ceux de 1885 dans nos contrées. Pendant ma visite chez M. Fréchou, de Nérac, il arrivait dans sa pharmacie des paysans porteurs d'échantillons de vins blancs de cette année, dont ils désiraient connaître le degré alcoolique. L'analyse a donné 1°3, 2°2 et 1/4 de degré, de l'acide tartrique, et c'est tout : voilà nos vins de 1885 ». De 1885 à 1886, et même plus tard encore, les vins dits mildiousés ou à faible degré n'ont pas été rares. Peu agréables d'abord, ils ont été, en outre, de conservation difficile, prenant la maladie de la Tourne, en bouteilles aussi bien qu'en fût. Et non seulement cette maladie a été préjudiciable au commerce, mais encore à la consommation. Que de vins

livrés à la consommation, après beaucoup de soins, ont été imbuables !

Les effets du Mildiou sur la qualité ne sont pas toujours de même sens. Il n'est pas douteux qu'il la diminue quand il se déclare un peu avant la vendange. Mais quand il attaque la vigne seulement au début de la végétation, il n'en est plus ainsi. En détruisant une partie de la récolte, il facilite la maturation de ce qui reste ; il améliore alors la qualité et ce cas est plus fréquent qu'on ne croit. Les vins de vignes mildiousées ne sont donc pas forcément defectueux. Exemple : les vins de l'Hérault de 1895.

La production est habituellement réduite ; quelquefois même, elle est complètement supprimée. Exemple : 1910 et 1913. Mais il arrive aussi qu'elle est accrue ; ce cas se produit lorsque la maladie fait tomber les feuilles un peu avant la vendange : le système évaporatoire de la plante, le feuillage, ne fonctionnant plus, les raisins reçoivent une plus grande quantité d'eau et gonflent leurs grains.

En résumé, en détruisant les grappes ou les grains, le mildiou améliore parfois la qualité ; en détruisant les feuilles, il la diminue ; le sens de la résultante peut donc être varié, mais, en général, elle aboutit à une diminution de la qualité.

**SOUCHE ET SARMENTS.** — Quelle est l'influence de la maladie sur la vigueur des ceps qu'elle a atteints ? La chute précoce ou tardive des feuilles entraîne toujours un affaiblissement de la plante. Il est clair que le développement des rameaux est forcément ralenti par un effeuillage morbide, continu et précoce. Si, au contraire, elle a lieu tardivement, lorsque la végétation est arrêtée, elle amène des modifications importantes dans la lignification et la composition des tissus.

Et voici l'analyse comparée de sarments sains et de sarments à lignification retardée par le Mildiou d'automne :

## COMPOSITION CHIMIQUE DES SARMENTS D'ARAMON

	Sarment mauvais	Sarment bon	Différences en faveur du sarment défectueux	
			rapportées au poids sec	rapportées au volume
Azote.....	0.85	0.97	-0.12	-0.16
Acide phosphorique $P^2O^5$ ..	0.30	0.29	+0.01	0
Potasse $K^2O$ .....	0.89	0.70	+0.19	+0.16
Chaux $CaO$ .....	0.97	1.47	-0.50	-0.57
Magnésie $MgO$ .....	0.33	0.41	-0.08	-0.10
Oxyde ferrique $Fe^2O^3$ .....	0.026	0.011	+0.015	+0.014
Anhydride sulfurique $SO^3$ .	0.0068	0.0082	-0.0014	-0.0018
Matières grasses.....	1.23	1.26	-0.03	-0.09
Matières amylacées .....	3.50	6.93	-3.43	-3.57
Matières protéiques... ..	5.31	6.06	-0.75	-1.05

## DE CARIGNAN

Azote.....	0.73	0.75	-0.02	»
Acide phosphorique $P^2O^5$ ..	0.31	0.27	+0.04	»
Potasse $K^2O$ .....	0.72	0.55	+0.17	»
Chaux $CaO$ .....	0.82	0.86	-0.04	»
Magnésie $MgO$ .....	0.27	0.29	-0.02	»
Oxyde ferrique $Fe^2O^3$ ....	0.020	0.023	-0.003	»
Anhydride sulfurique $SO^3$ .	0.0074	0.0062	+0.0012	»
Matières grasses.....	1.06	1.08	-0.02	»
Matières amylacées.....	5.31	7.43	-2.12	»
Matières protéiques .....	4.56	4.69	-0.13	»

Il résulte de l'examen de ces chiffres que, pour le cépage Aramon, il y a une plus grande quantité d'anhydride phosphorique, de potasse et d'oxyde de fer dans les sarments défectueux que dans les bons. Tous les autres éléments dosés sont, au contraire, en plus grande quantité dans les sarments de bonne qualité.

Pour l'azote, la différence en faveur de ces derniers est assez sensible ; elle atteint, en effet, le septième de la teneur totale.

Pour l'acide phosphorique, la différence 0,01 est insignifiante ; elle est nulle quand les chiffres sont rapportés au volume.

Pour la chaux, la différence 0,50 est considérable ; pour la magnésie, elle est également sensible.

Mais c'est pour les matières amylacées que les chiffres relatifs

aux deux catégories de bois sont les plus éloignés ; la différence 3,43 est sensiblement égale à la quantité totale de ces principes contenue dans les sarments défectueux : il y a donc, dans les échantillons soumis à l'analyse, une proportion de matières amylacées qui varie du simple au double et qui peut être plus importante encore.

Les chiffres relatifs au Carignan sont dans le même sens que les précédents, sauf en ce qui concerne l'oxyde de fer et l'anhydride sulfurique, qui ne se trouvent d'ailleurs que dans des proportions très faibles dans les deux sortes de bois. Toutefois, on peut constater que les différences pour les autres éléments dosés sont plus réduites dans ce dernier cépage que dans le premier.

Ainsi, pour les matières amylacées, la proportion s'élève à 7,43 dans les bois de bonne qualité ; elle atteint 3,31 dans les autres.

Il en est de même pour les matières protéiques.

L'analyse chimique peut donc nous faire connaître la richesse des sarments en matières actives ou de réserve ; elle nous renseigne exactement sur leur valeur, si l'on admet que les méthodes d'analyse employées sont rigoureusement exactes.

Mais elle est loin d'être à la portée de tout le monde ; elle ne peut être faite que par des spécialistes et a, en outre, le grave inconvénient, au point de vue pratique, de coûter fort cher.

EXAMEN MICROSCOPIQUE. — L'examen microscopique direct du contenu y supplée avantageusement. D'abord, dans la région coronale de la moelle, le parenchyme ligneux qui accompagne les vaisseaux primaires est plus ou moins lignifiée. Chez les sarments sains, les membranes s'épaississent d'assez bonne heure (fig. 17), elles restent au contraire très mince chez les sarments dont le mildiou a empêché l'aoutement (fig. 18).

D'autre part, les matières de réserve y sont plus ou moins abondantes.

Nos recherches ont porté principalement sur le noyau et sur l'amidon des divers tissus de très nombreux sarments pris soit dans les collections de l'Ecole, soit dans les vignobles des environs et sur des vignes de tout âge.

L'étude que nous avons faite de ces sarments de provenance variée nous a permis de les grouper autour de quatre types numérotés 1, 2, 3, 4 (1).

Dans une coupe transversale de rayon médullaire d'un sarment que nous considérons comme très bon et qui correspond au type 4 de notre classification, on voit dans les cellules un noyau volumineux arrondi, entouré d'un réseau protoplasmique que des réactifs spéciaux mettent en évidence, et dans les mailles duquel se trouve un nombre considérable de volumineux grains d'amidon.

Dans une section, au même grossissement, d'une partie correspondante d'un sarment défec-tueux quoique bien vivant et très sain, le noyau est plus petit, fré-

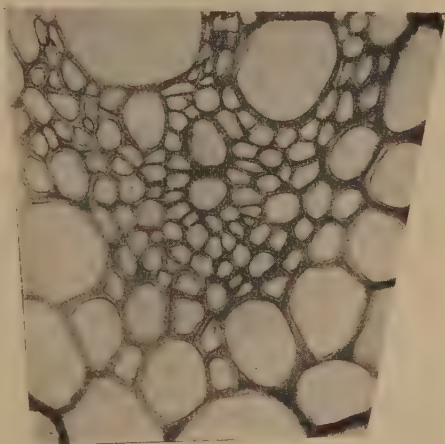


Fig. 17. — Coupe d'un sarment bien aoûté ; le parenchyme ligneux primaire a des membranes épaisses.

quement accolé aux parois des cellules ; le réseau protoplasmique est peu visible et les grains d'amidon font totalement défaut.

Cet examen du noyau et du protoplasme, quoique assez long, peut se faire sans grande difficultés dans un laboratoire bien outillé ; mais il devient impossible là où la technique spéciale qui permet d'étudier les caractères de cette partie du contenu cellulaire ne peut être suivie ; cette méthode n'est donc pas à la portée des viticulteurs, même des plus expérimentés ; elle reste sans intérêt au point de vue pratique. On y peut suppléer en

(1) L. RAVAZ ET A. BOUSET. Recherches sur les qualités des bois de la vigne, in *Ann. de l'École nationale d'agriculture de Montpellier*.



badigeonnant une section transversale ou oblique avec une solu-

tion à 1 % d'iode ; la section devient d'autant plus foncée que les tissus sont plus riches en amidon : elle reste jaune vif chez les sarments pauvres en matières de réserve.

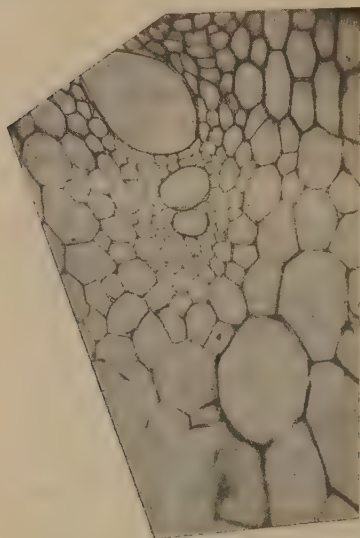


Fig. 18.— Coupe d'un sarment malaouté ; les cellules du parenchyme ligneux primaires ont des membranes très minces.

Quand les vignes ont été fortement éprouvées, comme en 1910, non seulement les sarments sont modifiés dans leur structure — ils ne mûrissent pas sur une grande longueur et se dessèchent pendant l'hiver — mais encore tout le corps de la souche et même le système racinaire. Voici les résultats d'analyses des souches fortement mil-

diousées en 1910, qui l'établissent nettement :

#### COMPOSITION CHIMIQUE DE GAMAYS SAINS ET MILDIOUSÉS

	o/o DE MATIÈRE SÈCHE					
	Sarments		Tronc et bras		Racines	
	mildiousés	sains	mildiousés	mildiousés	mildiousées	saines
Azote (Az).....	0.66	0.90	0.53	0.60	1.12	1.26
Acide phosphorique (P <sup>2</sup> O <sup>5</sup> ).....	0.12	0.105	0.04	0.04	0.33	0.47
Potasse (K <sup>2</sup> O).....	0.285	0.48	0.365	0.327	0.26	0.295
Chaux (CaO).....	1.23	4.28	1.28	1.07	0.875	1.415
Magnésio (MgO).....	0.145	0.305	0.130	0.17	0.135	0.205
Fer (Fe).....	0.073	0.029	0.052	0.038	0.132	0.0565
Matières protéiques brutes	4.12	5.62	3.31	3.75	7.00	7.87
— grasses brutes...	0.82	0.72	0.53	0.49	0.54	0.73
— sucrées ...	3.71	8.07	7.00	10.35	41.19	9.54
— amylacées.....	4.78	7.82	5.09	4.82	9.38	12.01
Cellulose saccharifiable ...	19.74	20.05	18.86	21.54	16.40	18.08
— brute.....	38.77	34.34	33.54	35.56	30.98	25.37
Cendres.....	"	3.37	3.69	3.59	4.06	4.865

Les vignes analogues à celles-ci, dont la composition a été si profondément modifiée, se sont très mal développées l'année suivante, 1911 ; elles n'ont donné que des pousses grêles et presque pas de fruits.

Si le Mildiou survient à l'arrière-saison, avant ou pendant la vendange et même lorsque la végétation est arrêtée, il amène la chute anticipée des feuilles ; il en résulte toujours un épuisement des tissus des sarments, du tronc et des racines. Ce sont surtout les matières amylacées qui manquent (quoique l'aoûtement paraisse bon) ainsi qu'il est facile de s'en assurer au microscope ou par l'épreuve de l'iode. Les vignes aux tissus ainsi épuisés donnent, au printemps suivant, des pousses grêles et peu de raisins (1908).

Mais, d'autre part, lorsque la maladie est précoce et n'exerce ses ravages que momentanément et surtout sur les grappes, au lieu d'affaiblir la plante, elle la fortifie plutôt. C'est qu'en effet, en détruisant les raisins, elle allège le cep de parasites énergiques et qui peuvent l'épuiser autant que l'attaque la plus intense ; et l'allègement peut être tel qu'il compense, et au delà, l'influence défavorable de la maladie.

Ce cas se produisait jadis assez souvent dans un champ d'expérience de Jacquez destiné à l'étude des diverses bouillies cupriques. Il y avait nécessairement un témoin, toujours le même. Chaque année, on pronostiquait sa mort prochaine, et chaque année presque, surtout quand la maladie avait sévi avec intensité ; il était plus puissant que les carrés témoins les mieux défendus. C'est que le Mildiou le dépouillait de ses grappes, en lui laissant un feuillage suffisant.

Ce qui précède montre que le Mildiou peut compromettre, dans les années défavorables, non seulement la récolte, mais encore l'avenir de la vigne. Quelle en est la cause ?

---

## ÉTIOLOGIE

---

Le Mildiou a été attribué à l'action du soleil et surtout du brouillard. Il y a évidemment entre le soleil, le brouillard et la maladie une relation étroite. Mais ni l'un ni l'autre n'en sont la cause immédiate : ils n'en sont que des circonstances favorisantes ou empêchantes.

La cause, c'est cette moisissure blanche qui recouvre si souvent les tissus malades ; on en aura la preuve plus loin. Elle est constituée par les tiges, les rameaux et les semences du champignon parasite découvert par Schwinitz : le *Peronospora viticola* (Berk et Curtis) de By, ou, actuellement, *Plasmopara viticola* Berl. et de Toni. C'est lui que nous allons étudier maintenant et dans les conditions mêmes où il se développe.

LES ZOOSPORES. — Qu'ils soient issus d'une conidie d'été ou d'une macroconidie, les corps reproducteurs du *P. viticola* sont toujours des zoospores. D'abord un peu ovalaires ou dolichoïdes, ces zoospores sont constituées par une masse protoplasmique, vacuolaire ou non, toujours ciliée. Aucune enveloppe de cellulose ne les entoure encore, elles paraissent nues ; elle peuvent donc prendre pendant qu'elles possèdent leur mobilité, les forme les plus variées. La fig. 19 en donne quelques-unes. Mais elles cessent bientôt de se mouvoir ; s'arrondissent, rétractent leurs cils et prennent la forme définitive représentée dans la fig. 19 ; au centre, existe une vacuole. A cet état, elles s'entourent d'une membrane très mince qui, ainsi que nous l'avons établi, est surtout constituée par de la callose ; il est facile de s'en assurer par les réactifs appropriés.

Si les conditions de milieu sont toujours favorables à leur évolution, c'est-à-dire si elles sont dans l'eau et à une température convenable, elles émettent bientôt, souvent en moins d'une heure, un — quelquefois deux — filament germinatif, très mince, mesurant en moyenne  $1\ \mu$  de largeur et constitué lui aussi, par de la callose. Le protoplasma de la zoospore arrondie passe peu à peu tout entier dans le tube germinatif comme dans un boudin. C'est ce que montrent les fig. 20 et 21. Sur verre, il se renfle par endroits, se ramifie, ou encore se gonfle en une sorte d'ampoule presque semblable à la conidie mère, puis s'allonge de nouveau ou non.

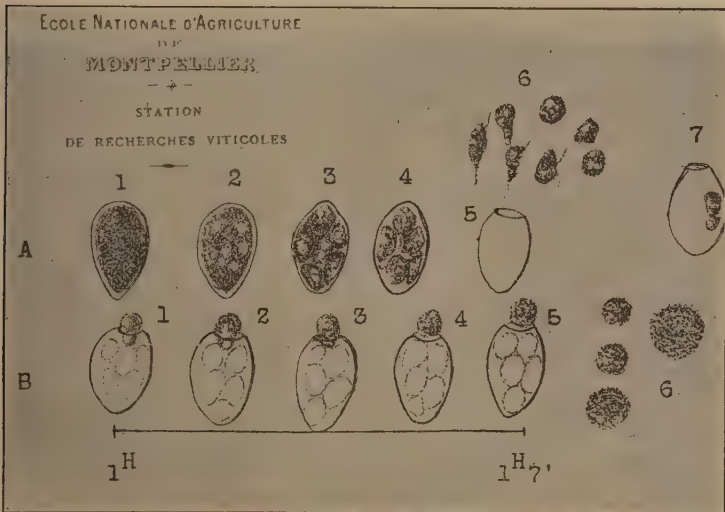


Fig. 19. — Conidies et zoospores

Cette vésicule ne se forme pas toujours. M. de Istwanffy la considère comme une spore secondaire « dont le rôle physiologique est d'assurer le développement ultérieur de la zoospore en germination. Le tube germinatif ne pend jamais, dit-il, dans la chambre sous-stomatique ; ni ne pénètre jusqu'au fond, mais il avance sous les cellules formant la voûte de la chambre sous-

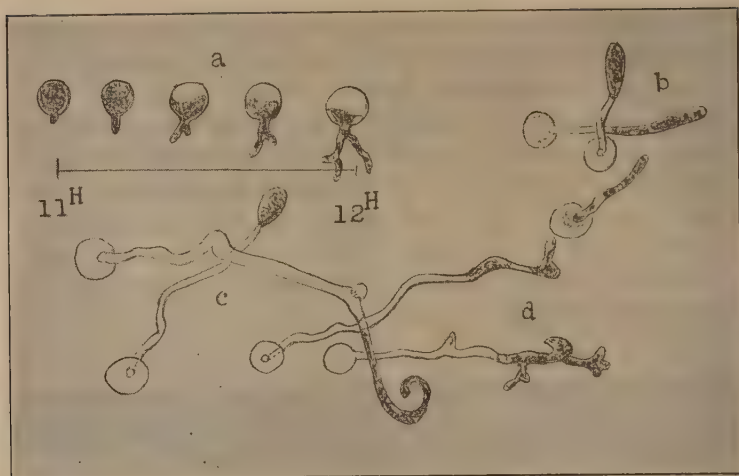


Fig. 20. — Zoospores en voie de germination

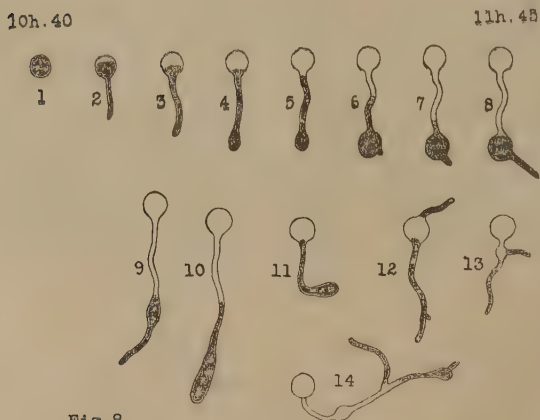


Fig. 8

Fig. 21. — Autres zoospores en germination



stomatique, il s'y renfle fortement et se transforme en *spore secondaire*, puis le protoplasma se transporte dans cette formation vésiculaire(1) ».

La vésicule se forme sous la poussée du protoplasma qu'elle renferme et la remplit au fur et mesure qu'elle grandit. Est-elle bien nécessaire? En tout cas, la vésicule que nous avons figurée n'a guère que les dimensions de la zoospore dont elle provient; celle décrite par M. de Istwanffy est toujours beaucoup plus grosse. Les fig. 20 et 21 montrent quelques-unes des formes des filaments germinatifs qu'on peut rencontrer. Toujours est-il que leur accroissement est très rapide. On les voit croître sous le microscope.

LE MYCELIUM. — C'est ce filament germinatif simple ou ramifié qui pénètre dans les tissus herbacés et, comme on le verra plus loin, exclusivement par les stomates. Dans la chambre stomatique, il grossit très vite aux dépens des cellules avoisinantes. D'après Müller-Thurgau, au bout d'une heure, il a déjà altéré quelques-unes d'entre elles. Puis il se ramifie pour envahir les tissus de l'hôte.

Nécessairement, il rencontre devant lui des tissus de densité différente : tissus spongieux, palissadique, faisceaux libéro-ligneux, dont les espaces intercellulaires n'ont, ni la même forme, ni les mêmes dimensions. Dans les espaces très vastes, le mycélium s'accroît en conservant sa forme normale, qui est régulièrement cylindrique ou à peine bosselée. Mais où les méats deviennent plus étroits, plus minces, il s'aplatit, et ce qu'il perd en épaisseur, il tend à le gagner en largeur. Il s'élargit donc et si, quand il est ainsi aplati, il rencontre des fissures encore plus réduites, il y envoie ses ramifications qui restent grêles tant qu'elles cheminent dans des canaux étroits, mais qui peuvent reprendre la forme et les dimensions normales si elles viennent à rencontrer des lacunes assez grandes.

Telle est l'explication des formes étranges coralloïdes, et

---

(1) G. DE ISTWANFFY et PALINKAS. *Étude sur le Mildiou de la vigne*. Budapest, 1913.

autres que présente si souvent le mycélium ; on voit qu'elles sont surtout fréquentes dans les régions tissulaires denses (fig. 22).

Le mycélium est unicellulaire ; il n'a que de fausses cloisons qui sont, d'après Mangin, des bouchons de callose. Tant qu'il n'a pas formé de fructifications, il est rempli de protoplasma dense,

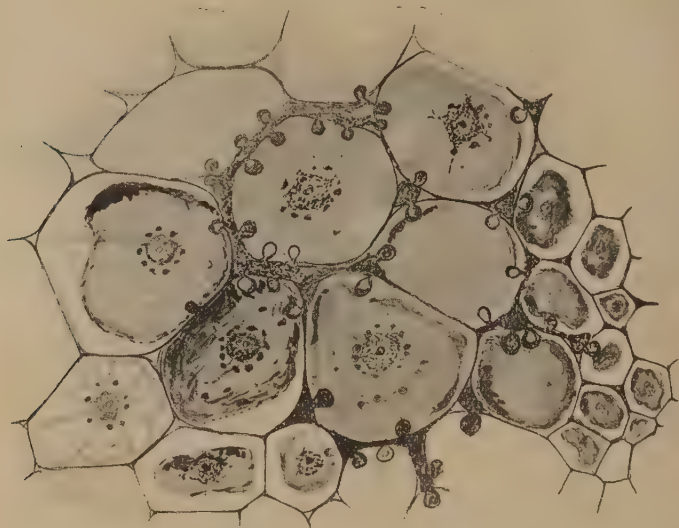


Fig. 22. — Le mycelium et ses suçoirs entre les cellules

granuleux et réticulé, et, d'après M. de Istwanffy, parsemé, surtout dans les régions à croissance rapide, de nombreux noyaux, ronds en général, de 1,5 à 3  $\mu$  de diamètre. Ce protoplasma passe en grande partie dans les fructifications quand elles se forment.

**LES SUÇOIRS.** — Comment le mycélium vit-il aux dépens des cellules de l'hôte ? Il ne se développe que dans les espaces intercellulaires, il ne traverse jamais les cellules, mais il envoie vers elles des suçoirs arrondis, ou en forme de battant de cloche. Ces organes d'absorption du mycélium en ont la même

structure, ils sont cependant plus riches en matières plastiques. Ils pressent contre l'enveloppe la cellule qu'ils refoulent à l'intérieur et qui, en s'invaginant, se moule sur eux. Ils paraissent plongés dans la cellule-hôte ; en réalité ils en sont toujours séparés par son enveloppe, mais il sont en contact avec elle par toute leur surface.

La cellule ainsi attaquée se défend, d'après M. Mangin, en modifiant la nature et en épaississant la partie de sa membrane qui entoure les suçoirs. Ce n'est plus de la cellulose, c'est surtout de la callose qui existe en ce point, et c'est pourquoi, après l'action de réactifs appropriés, les suçoirs paraissent si volumineux. Il n'apparaît pas qu'ils secrètent une substance toxique capable de tuer la cellule dans laquelle ils ont pénétré ; ils la tuent, semble-t-il, en absorbant les matières solubles qu'elle renferme normalement ou rendues solubles par une diastase spéciale du champignon. L'absorption a lieu, sans doute, par suite des différences de tensions osmotiques des cellules-hôtes et du suçoir et qui agissent à la manière des solutions salines concentrées, et ce qui tend à le prouver, c'est que le contenu cellulaire est souvent plasmolysé, réuni en grosse boule.

Les modifications ultérieures du contenu cellulaire, du noyau, n'ont pas été étudiées,

**LES CONIDIOPHORES.** — Lorsqu'il a pris un développement suffisant, si les conditions sont favorables, le *Peronospora viticola* produit ses fructifications d'été. Ce sont des conidiophores, des prolongements de mycelium, d'abord réunis en pelote dans la chambre sous-stomatique, qui sortent à l'extérieur au nombre de 10 ou 20 à un par les stomates, soit de la face inférieure, soit de la face supérieure, de la feuille et de tous les organes herbacés.

Ils peuvent aussi apparaître par toutes les fissures de l'épiderme accidentelles ou provoquées par eux-mêmes sur les grains ou en des points des feuilles non pourvues de stomates.

Complètement développées, ces fructifications ont l'aspect de petits arbres, à tiges cloisonnées, hyalines, à ramifications alter-

nes d'ordre primaire, secondaire, tertiaire, etc. Les dernières ramifications sont terminées par 3-4 pointes, sur chacune desquelles naît une conidie. Leurs dimensions sont nécessairement variables,  $\frac{1}{3}$  à  $\frac{1}{4}$  de millim., d'après Cornu, et entre les plus grandes, qui se forment dans une atmosphère très humide, les plus ramifiées d'une part et les plus réduites d'autre



Fig. 23. — Les conidiophores (d'après Cornu)

part, il y a une foule de formes intermédiaires. On en conçoit facilement de réduites à leur tige principale portant au sommet une seule conidie, ou même sans conidie ; on en conçoit aussi dont la tige puisse être nulle, auquel cas la conidie paraît implantée dans l'ouverture stomatique et même négative et

alors les fructifications n'existent pas. Tous ces états, qui se rencontrent souvent, sont subordonnés aux conditions de milieu. Celles-ci sont-elles très favorables au développement du parasite, les fructifications sont bien développées (printemps) ; sont-elles défavorables, les filaments conidifères se réduisent (automne) ou manquent (vent sec).

LES CONIDIES. — Les conidies apparaissent sur les stérigmates sous la forme de petits points arrondis : elles s'allongent très vite et prennent définitivement la forme ovoïde. Elles sont fixées par leur extrémité la plus rétrécie. Une cloison les sépare bientôt du stérigmate, mais on est peu fixé encore sur la nature de cette cloison. D'après M. Cornu : « lorsque la spore s'est isolée du filament par une cloison et qu'elle doit être mise en liberté, ce qui arrive sans doute dès qu'elle est mûre, ou peu de temps auparavant, voici ce qu'on peut observer dans des conditions convenables : du côté de la spore, et vers l'intérieur, la cloison semble se gonfler considérablement et, en même temps, elle paraît comme refoulée par une pression ayant son origine dans le filament. Du côté du filament, la cloison semble diminuer ensuite, sans que l'effet précédent soit annulé, en gonflant sa surface libre ; à ce moment, dans des cas rares, mais très nets, on peut voir une sorte de substance incolore d'apparence gélatineuse, séparant les deux moitiés de la cloison par un diaphragme de nature différente ; en dehors du contour se montre un petit bourrelet incolore qui le dépasse et fait saillie, dénotant ainsi la présence de cette couche intercalaire. Cette sorte de disque intermédiaire a la propriété de se gélifier de plus en plus et les deux parties de la cloison sont ainsi séparées. Du côté du filament, la cloison se bombe sous la pression intérieure et chasse la spore qui achève de se détacher et tombe.

« Cette gélification et cette dissolution du disque intermédiaire, peuvent s'accomplir sans doute en dehors de l'action de l'eau, mais l'eau favorise la chute des spores dans une proportion considérable : les spores se détachent dès qu'on vient de les mouiller. L'action de l'humidité des pluies, des rosées, se



trouve ainsi mise en évidence. La dissémination des spores est grandement facilitée pendant les temps humides ; elle est entravée par un temps sec ; les spores sont retenues pendant les intervalles où leur dessiccation serait certaine. »

Pour M. L. Mangin « la cloison qui sépare les conidies des basides ou des stérigmates, est toujours formée, dès l'origine, par la callose pure, à l'exclusion de la cellulose qui ne se développe que tardivement, lorsque la conidie est individualisée. La callose, qui ordinairement est très résistante à l'action des divers agents chimiques et dont l'insolubilité est aussi grande, parfois même plus grande que celle de la cellulose, est susceptible d'éprouver des modifications chimiques qui lui communiquent la propriété de se dissoudre dans l'eau ou dans les solutions alcalines caustiques. Cette modification, dont la nature nous est inconnue, a toujours lieu à la base des conidies dans la cloison séparatrice, de telle sorte que l'apport d'une petite quantité d'eau amenée par la pluie ou par la condensation de l'humidité de l'air, détermine rapidement la dissolution de la callose ainsi modifiée et la mise en liberté des conidies » (1).

C'est pourquoi pour l'étude des rameaux conidifères, il convient de les étudier dans les liquides déshydratants : alcool, solutions salines concentrées, etc.

Complètement développées, libres ou adhérentes, les conidies mesurent de 13 à 16  $\mu$  de hauteur, mais il en est aussi de plus petites. Leurs dimensions varient avec leur nombre sur un même conidiophore. Réduites sur ceux qui sont les plus ramifiés, elles sont parfois très grandes, presque des macroconidies, sur ceux qui ne portent qu'une ou deux ramifications ; elles sont encore d'ordinaire plus volumineuses quand elles paraissent sortir directement du stomate. Enfin, sur les filaments grêles et étiolés, elles sont également de dimensions réduites.

Elles n'ont pas toujours la forme régulière de la fig. 18. Elles sont entourées d'une membrane mince ; elles sont riches en protoplasma venu du mycelium, des tiges et des ramifica-

---

(1) L. MANGIN. Recherches sur les peronosporées ; *Compte rendu des travaux de la Société d'Histoire naturelle d'Autun*.

tions du conidiophore, à travers le stérigmate, très dense, presque homogène d'abord, puis granuleux. M. de Istwanffy y a signalé l'existence de nombreux noyaux qui correspondent sans doute aux zoospores futures; c'est, en effet, autour d'eux que le protoplasma semble se grouper.

GERMINATION. — Si elles tombent dans une goutte d'eau de pluie ou de rosée, elles deviennent des zoosporanges.

La transformation en zoosporanges et la germination des conidies ont été étudiées par divers observateurs. D'abord, par M. le Dr Farlow, en 1876 : « La germination des conidies, dit-il, s'est toujours produite avec une régularité surprenante. Au bout d'une heure (de séjour dans l'eau), elles sont déjà légèrement gonflées et leur contenu commence à se segmenter, chaque segment étant muni d'un noyau. Après 1 h. 1/4, les segments sont réunis à l'extrémité de la conidie, d'où ils sortent en rompant la paroi de la cellule. Ils sortent un peu lentement, s'arrêtent en général un instant devant l'ouverture, comme s'ils étaient encore un peu reliés les uns aux autres; mais bientôt ils se dégagent de la masse commune en se mouvant de plus en plus activement, et finalement chacun d'eux, qui est une zoospore ciliée, s'échappe avec une grande rapidité.

Le nombre des zoospores produit par une conidie est très variable : le plus souvent, 5 ou 6, quelquefois 3; dans un cas, j'en ai compté jusqu'à 17. Il arrive quelquefois que une ou deux zoospores ne peuvent réussir à s'échapper de la cellule mère. On les voit alors se mouvoir à l'intérieur. Quand il en reste deux, ce qui se produit souvent, elles se meuvent dans des directions opposées et s'empêchent mutuellement de sortir par l'ostiole de la conidie... Les zoospores se meuvent de plus en plus lentement pendant 15 à 20 minutes. Finalement, elles restent immobiles, les cils se détachent, elles prennent une forme sphérique et, un quart d'heure plus tard, une excroissance apparaît sur un des côtés et se développe rapidement en mycélium. Dans aucune circonstance, nous n'avons vu se produire, comme dans le *Peronospora infestans*, une hyphe sur la conidie.

La régularité et la ponctualité de la germination, malgré les

variations de la lumière et de la chaleur, est tout à fait surprenante. Si les conidies employées sont bien mûres, on peut avoir des zoospores pour la démonstration à l'heure voulue. En 1 heure ou 1 h. 1/4, les conidies commencent à se gonfler; 1 1/4 d'heure plus tard, les zoospores sont sorties : encore 1/4 d'heure et elles sont immobiles, et après un autre 1/4 d'heure, elles ont commencé à germer... » (1)

Il n'y a rien à changer à cette description qui est aussi exacte que précise.

M. Prillieux, en 1882, donne une description également très exacte du phénomène : « Cesspores (les conidies), en forme d'œufs, dit-il, ont à peu près 1/100<sup>e</sup> de millimètre de large et 15/1000<sup>e</sup> de millimètre de long. Elles germent très vite et d'une façon très singulière quand elles tombent dans une goutte d'eau. Au bout de 3/4 d'heure, elles s'ouvrent par le bout et laissent sortir chacune plusieurs petits corps, six ou huit le plus souvent, qui, une fois libres, nagent en tourbillonnant dans l'eau à la façon d'animalcules infusoires. On les nomme des zoospores. Après une demi-heure de course en tout sens dans le liquide, leurs mouvements se ralentissent ; ils se fixent et deviennent immobiles, puis leur petit corps arrondi s'allonge en un tube qui est capable de percer l'épiderme et de pénétrer dans la feuille de la vigne et de s'y développer en formant un nouveau mycélium » (2).

Millardet a fait des observations analogues, et ses dessins représentent très exactement diverses phases de la germination des conidies et des zoospores.

M. Müller-Thurgau a fort bien décrit la germination des conidies. « A une température de 20° C, dit-il, le 80 % des spores conidiennes a germé dans 1 heure et demie, que les verres contenant le milieu de culture aient été placés en pleine lumière ou dans l'obscurité. Les rayons lumineux n'ont donc aucune influence sur cette germination. Dès leur sortie de la conidie, les spores se meuvent très vivement dans l'eau, grâce à deux cils vibratils d'inégale longueur, comme si elles cherchaient

---

(1) D<sup>r</sup> FARLOW. *Loc. cit.*

(2) PRILLIEUX, *Loc. cit.*

une place spéciale et bien appropriée pour leur futur développement. Elles deviennent finalement de plus en plus immobiles et donnent naissance à un mince tube germinatif. Dans les cultures faites sur un verre de montre, toutes les zoospores étaient à la surface de l'eau au moment de l'émission de leur tube germinatif; elles ont certainement besoin de l'oxygène de l'air à cette phase de leur développement. Trois heures après avoir placé les conidies dans l'eau, la surface de cette dernière présentait déjà de nombreuses zoospores, émettant des tubes de germination. Ceux-ci avaient des formes peu régulières et un certain nombre d'entre eux étaient renflés près de leur point d'insertion à la zoospore » (1).

M. Farlow semble admettre que tous les phénomènes de la germination se produisent toujours après le même laps de temps.

M. Viala a suivi la germination des conidies à diverses températures. Voici comment il expose les résultats qu'il a obtenus : « J'ai vu aussi, dans la majorité des cas, la conidie s'organiser en sporange et former de cinq à huit zoospores, dans l'espace d'une demi-heure ou d'une heure, à une température de 28 à 30 degrés ». Mais, « à une température moyenne de 17 degrés, avec des minima de 10 à 11 degrés, la germination a lieu seulement au bout de deux ou trois jours. Plusieurs cultures ayant été maintenues à une température variant entre 2 degrés à 5 degrés pendant 4 jours, la germination n'a pas eu lieu, mais les conidies sont restées très vivaces et n'ont subi aucune altération; ramenées progressivement à 23 degrés, elles ont commencé à germer deux jours après. D'autres cultures ont étéensemencées sur de la glace fondante et la température maintenue à 1 degré, pendant 1 heure, puis portée lentement à 23 degrés; au bout de 3 jours, à cette température constante, les conidies intactes ont commencé à germer, mais en moins grand nombre que dans les expériences précédentes » (2).

Nous avons continué en 1913, l'étude de la question en raison de l'intérêt spécial qu'elle présente. Les conidies ont

---

(1) MULLER-THURGAU. *Loc. cit.*

(2) P. VIALA. *Les maladies de la vigne.*

toujours été déposées à la surface d'une large goutte d'eau de pluie stérilisée placée dans un verre de montre, recouvert lui-même d'un autre verre de montre sec, et mises ensuite à l'étuve à température constante. Pour les températures supérieures à 15 degrés, c'est l'étuve Roux qui nous a servi ; au-dessous de 15 degrés, il a fallu constituer des mélanges réfrigérants dont la surveillance, confiée à notre collaborateur, M. Patissier, a été si vigilante que la température, durant chaque expérience, n'a pas varié de 2/10 de degré. Il était difficile d'obtenir mieux avec les moyens de fortune que nous avons dû mettre en œuvre. Chaque chambre renfermait plusieurs verres de montre ensemencés que l'on sortait successivement, à intervalles réguliers pour les examiner ; l'examen terminé, ils étaient supprimés ou utilisés pour des essais d'une autre nature.

Dans nos expériences, la germination s'effectue sensiblement comme l'ont décrite les auteurs précités ; à la surface d'une goutte d'eau, le contenu de la conidie, d'abord homogène, présente bientôt un certain nombre de points réfringents ; autour d'eux, le protoplasma paraît se grouper en petites masses aux angles arrondis, qui ne tardent pas à être animées d'un mouvement lent d'abord, puis rapide : ce sont les zoospores. Au fur et à mesure que ces zoospores deviennent plus distinctes, elles deviennent aussi plus mobiles. Elles tournent sur elles-mêmes et autour de leur cage, pressent contre l'enveloppe, qui fait bientôt hernie (1) au sommet, et la trouent. Par ce trou, elles sortent aussitôt brusquement et toutes à la fois, restent réunies pendant quelques fractions de seconde, puis se séparent et nagent dans toutes les directions. Après quelques instants de course désordonnée dans l'eau, elles perdent leurs cils, s'arrondissent et s'entourent aussitôt d'une membrane qui ne prend pas les réactifs de la cellulose, mais qui prend nettement ceux de la callose, et si elles rencontrent un stomate sur un organe convenable, elles vont produire une nouvelle invasion (fig. 19).

---

(1) Pour Grégory et Istwanffy, cette hernie ou papille est un couvercle que se détache sous la poussée des zoospores. Nous n'avons pas vu que les choses se passent ainsi.



Les choses se passent ainsi, à plusieurs reprises, durant toute la période végétative. Ce sont donc ces germes, ces conidies qui, portées par le vent ou par la pluie, propagent la maladie, soit sur les organes de la même plante, soit sur d'autres vignes.

RÉSISTANCE AUX INTEMPÉRIES. — Les conidies-zoosporanges paraissent très peu résistantes en raison de la fragilité de leur enveloppe et de la nature de leur contenu. Il est donc très probable que leur rôle est de propager le parasite seulement pendant la belle saison.

*Qu'advient-il durant l'hiver des conidies formées à l'automne?*  
Les conidies formées à l'automne sont généralement en très grand nombre et elles tombent sur le sol surtout au voisinage du point où elles sont nées. Peuvent-elles jouer un rôle dans les invasions printanières? C'est ce que nous avons recherché en instituant les expériences suivantes :

14 octobre 1912. Un pot sans fond, le pot 1, est enterré jusqu'au rebord dans la vigne Mandon et à peu près rempli de terre fine silico-argileuse. A la surface de la terre on dépose des conidies fraîches.

21 octobre. Trois pots sont disposés de la même manière et reçoivent : les pots 2 et 3, du sable stérilisé, et le pot 4 du sable de mer. Par dessus, on sème un très grand nombre de conidies.

25 octobre. Un cinquième pot garni de terre reçoit encore des conidies qu'on recouvre de 5 mm de terre ; et dans un sixième pot, on sème des conidies qui ne sont point couvertes.

14 janvier. De la terre du pot 3, prélevée à la surface, est délayée dans l'eau de pluie stérilisée. On y retrouve quelques conidies, au contenu jaune-brun, à la membrane jaunie ; quelques corps agiles, ressemblant à des zoospores, se meuvent dans l'eau. On infecte avec cette eau une feuille de Grenache et le 29 janvier apparaissent des conidiophores sur la feuille infectée.

Le 17 janvier, on examine le sable du pot 4, cueilli à la surface. Impossible de trouver des conidies. Mais dans l'eau de délayage, surtout après quelques heures d'attente, on voit nager dans le liquide des organismes qui ont l'aspect, l'allure, les

dimensions des *zoospores* du Mildiou. Mais les zoospores des algues et des champignons portent bien rarement des caractères spécifiques. Ce liquide est pulvérisé à la face inférieure d'une feuille de Grenache pour réaliser une infection. Aucun résultat n'est obtenu.

Le 17 janvier, même expérience avec de la terre de la surface du pot 5, qui est délayée dans l'eau de pluie. Pas de conidies visibles, mais nagent dans l'eau des organismes vivants. On infecte une feuille de Grenache. Pas de résultat au 3 mars.

Le 18 janvier, même expérience avec de la terre du pot 6. On retrouve quelques conidies dont le contenu est devenu jaune-brun. Quelques zoospore dans l'eau de délayage. On infecte 2 feuilles de Grenache et une d'Aramon. Pas de résultat au 3 mars.

21 janvier. De la terre ayant reçu des conidies à la surface et de la terre entourant des conidies recouvertes, sont délayées dans de l'eau de pluie stérilisée. Pas de conidies visibles, mais toujours quelques zoospores s'agitent dans le liquide. On infecte avec l'une 2 feuilles d'Aramon et avec l'autre une feuille de Grenache. Le 11 février, pas de résultat.

31 janvier. Les feuilles de l'extrémité d'un rameau de Grenache ont été infectées avec de l'eau dans laquelle on a délayé de la terre ayant reçu des conidies. Le 3 mars, pas de résultat.

Même essai sur trois autres feuilles de Grenache. Résultat nul.

11 février. Infection d'une feuille avec de la terre délayée dans l'eau de pluie. Pas de résultat.

Ainsi, sauf dans un essai, et qui peut être entaché d'erreur, les conidies d'été ou d'automne ne paraissent pas devoir se conserver dans ou sur le sol durant l'hiver. Elles disparaissent pour la plupart, soit qu'elles pourrissent, soit que des insectes les détruisent. Les organismes vivants et agiles qui ressemblent bien aux zoospores qu'elles donnent se sont montrés incapables de contaminer les feuilles de Grenache et d'Aramon dans les conditions les plus favorables. On est donc en droit de conclure que les conidies d'été ne sont pour rien dans les invasions du printemps suivant. Toutefois, l'étude de la question devrait être reprise.

Or, le parasite se montre chaque année ; il doit donc avoir des moyens de multiplication moins fragiles.

PÉRÉNNITÉ DU MYCÉLIUM. — M. Fréchou, dans des conditions un peu spéciales, il est vrai, a établi la perennité du mycélium. Il est probable que les cas de cette nature sont très rares ; ils peuvent se présenter comme Baillon et M. Cuboni l'ont montré, dans les bourgeons. Le mycélium qui a envahi tardivement et partiellement un bourgeon herbacé, peut très bien y passer l'hiver et se développer à nouveau avec le jeune rameau. La nature, toutefois, n'a pas fourni jusqu'ici des cas de ce genre bien nets. Ce moyen d'assurer la perpétuation du parasite est donc très aléatoire.

LES SPORES D'HIVER. — Le *P. viticola* a d'autres organes de reproduction que ceux que nous avons décrits.

Ils se forment *dans* tous les tissus envahis, mais surtout dans les feuilles lorsque la végétation de la vigne est très ralentie, c'est-à-dire en août, septembre, octobre. Ils se produisent, semble-t-il, quand le parasite se trouve dans un milieu défavorable à son développement. Cependant, ils peuvent se produire encore à l'arrière-saison il est vrai, mais en serre sur de jeunes feuilles en voie de croissance. L'ensemencement qui a donné ce résultat avait été fait avec des conidies tardives ; et il est possible que ces germes communiquent à leur descendance une tendance à former des spores d'hiver.

FORMATION ET STRUCTURE. — Quoi qu'il en soit, ce sont des corps à enveloppe épaisse et dure ; leur contenu doit sans doute aussi différer physiquement beaucoup du contenu des conidies : ce sont les spores dormantes (fig. 23). Elles peuvent être, dit Cornu, « desséchées, être soustraites à l'influence de l'air et de l'humidité ; elles peuvent demeurer plusieurs mois et même plusieurs années, surtout si elles sont enfouies dans le sol, sans perdre une propriété germinative. » Mais rien ne prouve qu'il en est ainsi.

Elles sont issues de la reproduction sexuée. Voici comment elles se forment :

« Des hyphes du mycélium qui rampent entre les cellules du parenchyme, se gonflent en une sorte de vessie pyriforme ou

sphérique qui est une oogone. Le plasma s'y accumule et l'oogone se sépare du filament par une cloison. Un rameau voisin se renfle en anthéridie et vient s'accoler à la paroi de l'oogone, à l'intérieur de laquelle le plasma condensé de l'oosphère se trouve fécondé. C'est l'œuf, qui après la fécondation, s'entoure d'une coque qui devient épaisse, dure et résistante (4) ».

Il est difficile de s'assurer que les choses se passent telles que M. Prillieux vient de les décrire. Les oogones, dans les feuilles, sont entourés de si nombreux filaments mycéliens, qu'il ne nous a pas été possible, jusqu'ici, d'y découvrir des anthéridies bien caractérisées. Un hasard heureux permettra sans doute de résoudre cette question.

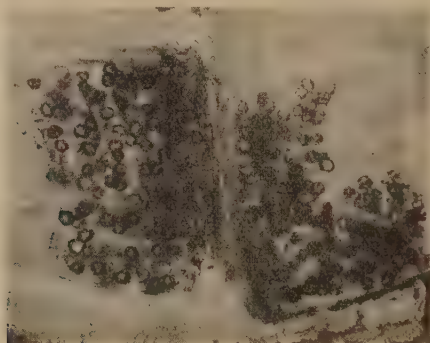


Fig. 23. — Spores d'hiver dans une feuille

La structure des oospores est simple ; deux enveloppes : une *endospore* relativement épaisse, presque incolore, une *épispore* plus mince et généralement de couleur roussâtre et qui rend facile la découverte des spores d'hiver dans les feuilles. Cette épispore n'a pas d'ornement extérieur ; autour, l'oogone plus ou moins ratalinée ; à l'intérieur, un protoplasma granuleux.

Les oospores passent l'hiver dans les organes où elles ont pris naissance, soit à la surface du sol, soit plus ou moins enterrées. Peuvent-elles résister plusieurs années, comme le dit M. Cornu, aux intempéries des saisons ?

---

(4) PRILLIEUX, *Maladie des plantes agricoles*, T. 1, p. 103.

Quoi qu'il en soit, elles germent au printemps quand elles sont placées dans des conditions convenables.

LA GERMINATION DES SPORES D'HIVER. — L'étude de la germination des spores dormantes de *Plasmopara viticola* paraît avoir rencontré d'importantes difficultés.

M. Farlow (1) qui l'a tentée le premier, déclare « qu'il n'a pu observer la germination des oospores ». Cornu n'a pas été plus heureux, non plus que Millardet qui croit d'ailleurs qu'elles germent à la manière des oospores de *Cystopus*. M. Fréchou (2) a bien trouvé « que les spores d'hiver se vident dans l'eau 5 ou 6 jours après leur immersion et que, dans le liquide, on voit nager de nombreuses zoospores, mais c'est là une exception; le plus souvent, les spores séjournent plus d'un mois dans l'eau avant d'offrir les premiers symptômes d'une germination qui, dans ces dernières conditions, s'effectue par un tube volumineux et très allongé. Dans les recherches sans nombre que j'ai faites sur ces spores, je n'ai, dit-il, jamais pu obtenir de conidies, ce qui permet de supposer que, pour atteindre ce résultat, l'intervention de la plante nourricière est indispensable. »

M. Viala (3), comme M. Richon, a observé la germination des spores d'hiver par zoospores. J'ai suivi, dit-il, le développement d'œufs « encore attenants au mycelium et qui avaient leur oosphère rempli d'un protoplasma condensé. Le protoplasma est devenu plus grumeux et il s'est bientôt formé des lignes plus sombres séparant des zoospores qui sont sorties au nombre de 10 à 18 de chaque œuf; ces zoospores étaient pourvues de deux cils très longs et se mouvaient rapidement dans l'eau; elles étaient plus petites que celles des conidies ».

Max Cornu (4), qui n'a pu observer la germination des spores d'hiver, discute, en s'appuyant sur les recherches relatives aux Saprologniées, les divers modes de germination qui peuvent se produire. « Il ne m'a pas été possible, dit-il, de tenter des expé-

---

(1) W. G. FARLOW. *On the american grape-vine*, 1876.

(2) *Comptes rendus*, 9 février 1885.

(3) P. VIALA. *Une mission viticole*.

(4) MAX CORNU. *Etude sur les Peronosporées*, 1882.

riences sur le développement des oospores, mais je tiens pour probable, comme on l'a vu plus haut, que la germination doit donner des filaments sporifères quand cette germination se produit dans l'air et non sous une couche d'eau. »

« Les oospores germent-elles en émettant des zoospores, comme M. de Barry l'a observé chez les *Cystopus*? Germent-elles en émettant des conidies? Ce second cas, fréquent chez les *Saprolegniées*, n'a point été signalé chez les *Peronospora*, mais il est probable, et je demande la permission de développer les raisons qui me le font croire possible et même probable. Il semble que le premier cas devra se présenter lorsque les oospores sont immergés dans l'eau, le second, quand l'eau est en quantité moindre, ce qui est probablement le cas le plus général.

» *Premier cas.* — Admettons le premier mode de germination.

» Le transport direct des zoospores (en faisant abstraction du transport des gouttes par le vent, qui ne peut les porter bien loin) nécessite la présence d'une couche continue d'eau du point de départ au point d'arrivée; ce transport ne peut s'étendre à de grandes distances; il réduit son effet à la contamination de quelques feuilles situées dans le voisinage et touchant le sol, car il est impossible aux zoospores de pénétrer dans la tige à travers les couches subéreuses du tronc.

» C'est de ces feuilles que devraient partir les germes aériens que le vent peut alors facilement transporter au loin.

» Si cette germination était la seule, il suffirait de relever les rameaux et de les empêcher de toucher la terre, mais il est bien évident que cette condition de végétation exigée pour les zoospores, n'est remplie que dans un certain nombre de cas, comme dans l'Hérault où les longs sarments d'Aramon recouvrent le sol; le *Peronospora* devrait s'y montrer plus précoce et plus abondant que partout ailleurs. Il y a un grand nombre de vignobles où les tiges dressées ne permettent pas au feuillage de s'étendre sur le sol; malgré cela, l'invasion est complète.

» Avant que les premiers pulvinules se soient développés sur les feuilles, il devrait s'écouler une certaine période nécessaire



pour le développement (1); il faudrait une série de générations successives de spores aériennes avant que le mal soit un peu largement généralisé; il y aurait donc une différence très grande entre les vignobles à rameaux dressés et ceux à rameaux couchés: ces derniers devraient être particulièrement dévastés. On n'a rien remarqué de pareil à ce qu'il semble.

» *Second cas.* — Il peut arriver que les faits me donnent tort, mais il paraît probable que, si l'on avait montré que l'oospore peut donner naissance à des conidies, comme cela s'observe dans des champignons très voisins, la dissémination générale et immédiate, à peu près semblable en tous les points, se comprendrait et s'expliquerait bien plus facilement. La production des conidies pourrait être déjà très généralisée une quinzaine de jours après la germination des oospores ».

D'après M. Prillieux (2), au contraire, il « semble que le plus souvent l'œuf germe en émettant un ou plusieurs tubes de germination qui peuvent se redresser et prendre le caractère d'un conidiophore muni de rameaux et tout à fait semblable à ceux qui se produisent sur les feuilles. Les œufs du *Plasmopara viticola* offrent donc dans leur germination la plus frappante analogie avec ce qu'a observé de Bary pour ceux de *Plasmopara omnivora* ». Les dessins qui accompagnent ce texte sont très nets.

Nous avons repris en 1910-11 l'étude de la question.

*Choix des matériaux.* — A l'arrière-saison, au moment où les premières gelées vont se produire, on cueille les feuilles qui portent des taches en *mosaïque*, car ce sont elles qui, d'ordinaire, renferment le plus de spores d'hiver. Plus les éléments de la mosaïque sont petits, plus les spores y sont nombreuses. Au reste, par un examen au microscope à un faible grossissement, il est facile d'apercevoir ces spores au sein des tissus et même d'en faire le dénombrement, si on y tient (fig. 23). En tout cas, on peut de cette manière délimiter les points de la

---

(1) Suivant M. Farlow, elle est de 3 jours pour les vignes européennes, de 7 pour les vignes américaines.

(2) E. PRILLIEUX. *Bull. Soc. bot. de France*, 13 juillet 1883.

feuille les plus riches en spores dormantes, les détacher avec des ciseaux et en faire provision.

Ces fragments de feuille sont ensuite placés dehors, en pleine vigne, à la surface du sol, fixés par des pierres siliceuses, des baguettes de verre, etc., afin qu'ils ne puissent être enlevés par les eaux, le vent — ou enterrés à des profondeurs connues, etc.

On prend aussi quelques précautions pour éviter que les feuilles des ceps voisins ne viennent se mélanger à eux et en gênent ensuite l'étude.

C'est cette réserve de matériaux, placés dans les conditions ordinaires d'humidité et de chaleur naturelles, qu'on utilise au fur et à mesure des besoins.

*Développement.* — L'hiver, les spores dormantes n'évoluent point. Pour en suivre l'évolution pendant cette saison il faut les faire développer en serre.

Voici comment on peut opérer : Les fragments de feuille choisis sont lavés pour les débarrasser de la terre qui les salit toujours. On les subdivise aussitôt en fragments de 1 à 2 millimètres de côté, qu'on place dans des verres de montre à fond plat ou dans de petites boîtes de Pétri avec une quantité d'eau juste suffisante pour les couvrir à peine. L'eau ordinaire, l'eau distillée conviennent. Nous faisons généralement usage d'eau de pluie stérilisée. Les verres de montre ainsi préparés sont mis à l'étuve ou dans une serre chauffée.

C'est au printemps 1911, qu'avec le concours d'un de mes élèves, M. Stoyanovich, nous avons obtenu les premiers la germination des spores d'hiver du *Plasmopara viticola*. Les résultats de nos études ont été communiqués au Congrès international de Viticulture, qui s'est tenu à Pampelune, en juillet 1912 (1).

LES MACROCONIDIES. — Le mode de développement que nous avons observé sur des milliers de spores dormantes est le suivant :

L'œuf placé dans des conditions d'humidité et de température convenables, émet, non pas un véritable conidiophore

---

(1) L. RAVAZ. *Communication au Congrès viticole de Pampelune*, juillet 1912. — L. RAVAZ et G. VERGE. *C. R.*, 1913 et *Annales des Epiphyties*, 1914.

rigide et ramifié, mais généralement un filament mycélien grêle — car il ne mesure que  $2-3\ \mu$  de diamètre — sinueux et souple et qui peut atteindre des longueurs fort variables. Tantôt il n'est pas plus long que l'œuf dont il provient ou le zoosporange qu'il porte, tantôt il est 3, 4, 5 fois plus long et même parfois davantage (fig. 24). Il arrive aussi que la spore d'hiver donne naissance à

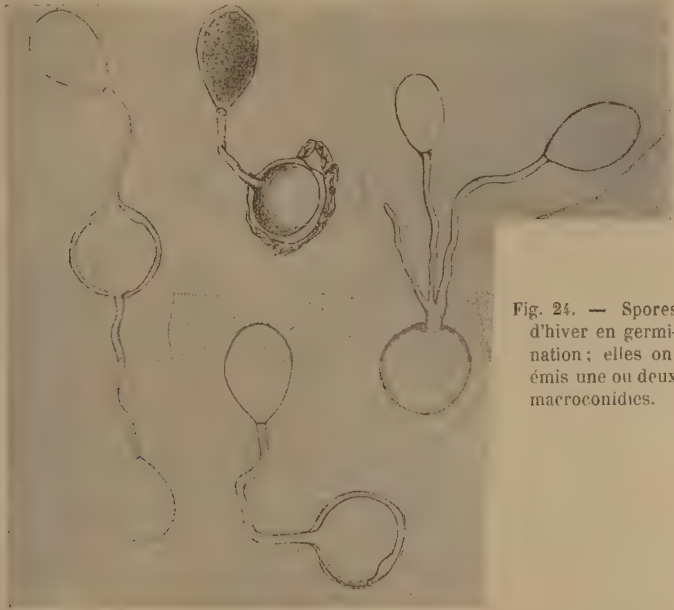


Fig. 24. — Spores d'hiver en germination; elles ont émis une ou deux macroconidies.

deux et même trois filaments qui partent soit de points différents soit du même point. Dans ce dernier cas, les uns peuvent être considérés comme étant des ramifications de l'autre; et, en effet, un filament d'abord unique peut se subdiviser en d'autres filaments également souples, à une distance plus ou moins grande de son point d'origine.

Ces filaments se remplissent de protoplasma à mesure qu'ils s'allongent et ils ne tardent pas, surtout s'ils ne sont pas trop nombreux sur un même œuf, à donner chacun naissance à *une* conidie qui a sensiblement la même forme que la conidie d'été,

mais qui est généralement beaucoup plus grosse. Elle se développe très vite comme le montrent les figures

Dans la figure 25 en bas, la conidie est à peine visible à 7 heures du matin, 20 minutes après, elle apparaît bientôt comme un petit point blanc hyalin, puis elle grossit à mesure que le protoplasma du filament mycélien s'accumule à son intérieur et, au bout de 2 h. 55, elle a atteint ses dimensions définitives. La même figure en haut montre quelques-unes des étapes du développement d'un autre macroconidie. Même allure que pour la conidie précédente.



Fig. 25. — Etats successifs de développement de deux macroconidies

A ce moment, le filament mycélien est vide ainsi que l'œuf (fig. 24). Il a servi au passage du protoplasma de l'œuf dans la conidie.

Ces conidies ont des dimensions variables. Elles peuvent être aussi volumineuses que l'œuf dont elles proviennent; elles sont plus petites si elles naissent plus nombreuses. Elles mesurent en moyenne  $33\ \mu$  de longueur sur  $23\ \mu$  de largeur dans la partie la plus renflée.

Elles naissent souvent très nombreuses en un même point et surtout sur les bords des fragments de feuille, comme le montre la fig. 26.

C.-T. Grégory, dans un mémoire intitulé : *Spore germination and infection with Plasmopara viticola*, publié en 1912 dans *Phytopathology* et dont nous n'avons eu connaissance que beaucoup plus tard, décrit la germination des spores d'hiver, mais il n'a pu assister à celle des macroconidies, non plus qu'à l'évolution ultérieure de leurs zoospores. Voici du reste le passage capital de son mémoire : « Les feuilles étaient enfermées dans une boîte en treillis de fil de fer pour qu'elles ne soient pas emportées, et placées sur le sol en hiver dans des conditions aussi naturelles que possible.

» En février 1912, un certain nombre de feuilles de la boîte étaient apportées au laboratoire et placées dans des verres de Pétri ou sur du sable humide. En faisant varier les conditions du commencement du printemps, une humidité abondante était assurée : après quelques semaines, les feuilles étaient très molles et favorables au développement des champignons.

» En mars, des parties de ces feuilles ont été examinées pour les oospores. Il était à peine nécessaire de déchiqueter les tissus de la feuille pour trouver en abondance des oospores brunes placées isolément ou en groupe dans les tissus, ou libres dans



Fig. 26. — En haut : Macroconidies émergeant d'un fragment de feuille ; en bas : Macroconidies nées sur le bord d'un fragment de feuille.

l'eau. Ces oospores brunes ont une endospore épaisse et lisse couverte par une mince et rugueuse exospore ; elles sont libres dans la cavité oogoniale, la paroi oogoniale touchant l'oospore d'une façon très irrégulière. Les morceaux de feuilles et les oospores étaient placées sur des lamelles avec aussi peu d'eau que possible, ou sur des carrés de papier buvard humide pour leur assurer une aération abondante. Plus de 25 préparations ont été faites ainsi et gardées dans des chambres humides à environ 20° C. De temps en temps, les oospores étaient examinées pour noter tous les changements qui pouvaient se produire dans leur contenu.

» Le 29 mars, la première germination fut observée, à cette date, quelques corps ayant la structure et l'apparence de la conidie du *Plasmopara viticola* étaient trouvés. Ces conidies étaient nées au sommet d'une tige ou promycélium de longueur variée ; on pouvait observer, dans presque chaque cas, qu'elle provenait des oospores brunes. Dans certains cas, il n'était pas possible de voir l'oospore germant à cause de l'épaisseur des tissus de la feuille dans lesquels elle était enfouie. Après cette date, on trouvait des oospores germant presque tous les jours jusqu'au 16 avril. On a trouvé d'autres cas jusqu'à fin mai.

» D'une petite fente dans la paroi de l'oospore, le promycélium pousse et traverse la paroi oogoniale et à son extrémité se produit une conidie ovale qui se sépare par une cloison. A l'extrémité supérieure se trouve une papille caractéristique de la conidie de *Plasmopara viticola*, par où a lieu la projection des zoospore. La dimension de cette conidie varie de 31 à 47  $\mu$  de long et 27  $\mu$  de large, tandis que la moyenne des conidies d'été est un peu plus faible, certaines sont cependant aussi grandes que celles issues des oospores. Généralement, une oospore produit un promycélium accompagné de sa conidie ; quelquefois il y en a deux et, dans ce cas, les conidies sont plus petites. Il paraît certain que les oospores germent très rapidement puisque le premier état du promycélium n'a jamais été observé, bien qu'on ait trouvé quelquefois des conidies non mûres. Dans aucun cas, l'oospore n'a émis



directement des zoospores. La germination de ces conidies n'a jamais été suivie, mais les enveloppes vides ont été trouvées indiquant ainsi que la germination suit la méthode usuelle. Il est presque tout à fait certain que les conidies sont très facilement détachées du promycélium, puisque en essayant d'arranger quelques exemplaires pour de meilleures observations, on a déplacé très légèrement les morceaux de feuilles et les conidies ont été détachées et perdues.

» Ainsi, il semble que les oospores produisent leurs conidies dans les feuilles sur le sol et que les vents et la pluie les transportent sur les feuilles où elles germent et produisent les zoospores qui, à leur tour, infectent les feuilles. La pluie peut très facilement éclabousser les spores sur les feuilles, comme on peut le voir en examinant les feuilles basses des vignes sur un terrain bien cultivé: après une forte pluie, on trouve de la boue sur le dessus et sur le dessous des feuilles à une hauteur de deux ou trois pieds ».

Tout se passe donc en Amérique comme en France.

GERMINATION DES MACROCONIDIES. — Dès qu'elles ont reçu tout le protoplasma de l'œuf, elles s'isolent, par une cloison, de leur support vide. Leur contenu, qui est d'abord homogène, se différencie bien vite; des points réfringents apparaissent qui deviennent, semble-t-il, le centre de petites masses un peu mobiles et qui sont des zoospores (fig. 27). La conidie se renfle à son sommet en une papille (fig. 28), une ouverture se fait en ce point par laquelle les zoospores sortent souvent d'un seul jet (fig. 28-10), quelquefois en deux (fig. 28-11), quelquefois aussi, un certain nombre d'entre elles restent assez longtemps dans la conidie presque vide, où elles s'agitent dans tous les sens en quête d'une porte de sortie (fig. 28-10 et 29, 4 et 5). Si elles la trouvent, elles s'échappent, mais il arrive qu'elles demeurent indéfiniment prisonnières. Elles finissent alors par s'arrondir, deviennent immobiles, meurent et se disloquent en subissant une sorte d'hydrolyse.

Au dehors, dans l'eau, les zoospores se séparent les unes des

autres et nagent très vite dans le liquide en tournant sur elles-mêmes ou à la manière de la godille ou encore en agitant leurs cils (fig. 28-44). Après un temps plus ou moins long (de 1 à 4 d'heure à quelques heures) elles s'arrondissent, perdent leurs cils et

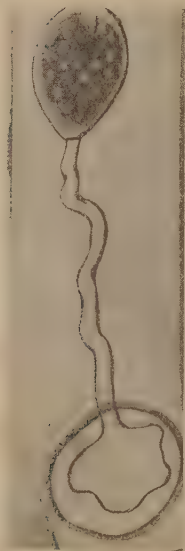


Fig. 27. — Une Macroconidie sur le point de germer.



Fig. 11



Fig. 10

Fig. 28. — Macroconidies qui viennent de germer; leurs zoospores.

s'entourent d'une membrane. Elles mesurent alors 2-3  $\mu$  environ de diamètre, mais il y en a de plus petites.

Dans quelques cas, la conidie, au lieu d'émettre des zoospores, donne naissance à un filament qui se termine par une conidie secondaire (fig. 30). Celle-ci, une fois qu'elle a reçu tout le contenu de la première, s'isole de son support par une cloison et donne naissance à des zoospores. Et peut-être aussi y a-t-il des cas où l'évolution est encore un peu plus compliquée : au lieu de deux conidies superposées, il se produit un véritable chapelet, et non pas dans les cultures de laboratoire, mais dans les conditions de la nature.

Quoi qu'il en soit, tous ces phénomènes se produisent très vite. Dans les premiers temps, la germination exigeait un séjour de 2-3 4 jours et davantage des feuilles dans l'eau de nos verres de montre.

A mesure que la saison avançait, il ne fallait plus que 2-4 jours. Et des fragments de feuilles mis dans l'eau le 22 mars au soir



Fig. 29. — Macroconidies après leur germination : elles renferment quelques zoospores qui n'ont pu s'échapper au dehors.

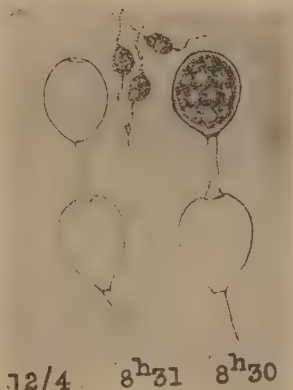


Fig. 30. — Macroconidies superposées

nous ont donné le lendemain matin des conidies bien formées et dont quelques-unes s'étaient déjà vidées de leurs zoospores. Dans les conditions les plus favorables, la double germination des œufs d'hiver du *Plasmopara viticola* ne doit pas exiger plus de quelques heures.

Max Cornu pense que, dans l'eau, les spores d'hiver doivent émettre directement des zoospores — et des filaments sporifères dans l'air —. En fait, il n'en est pas ainsi.

Il faut beaucoup d'eau pour que les macroconidies se forment ; les expériences suivantes l'établissent : 1° Des fragments de feuilles, riches en spores d'hiver, sont plongés verticalement sur la moitié de leur hauteur dans de l'eau de pluie ; température de la serre. L'eau monte par capillarité dans les tissus de la feuille. Néanmoins, aucune conidie ne se forme.

2° On enroule une portion de feuille contenant des spores d'hiver autour de la cuvette d'un thermomètre mouillé. Elle reste humectée fort longtemps ; aucune spore d'hiver ne germe.

3° Des fragments de feuilles préalablement gorgés d'eau, sont mis dans une cloche saturée d'humidité, sur une plaque de verre ; aucune spore d'hiver n'entre en germination. Les témoins, au contraire, émettent des macroconidies.

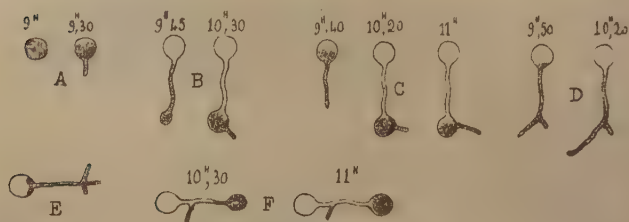


Fig. 31. — Germination des zoospores

**GERMINATION DES ZOOSPORES.** — Les zoospores germent dans l'eau de pluie comme le montre la fig. 31, qui représente les états successifs de développement de quelques-unes d'entre-elles. Après s'être arrondies, elles s'entourent d'une membrane de même nature que celle des zoospores issues des conidies d'été, puis elles émettent, presque aussitôt, généralement un tube germinatif, quelquefois deux, dans lequel passe peu à peu le protoplasma de la zoospore. Ce tube se ramifie, se renfle, formant presque quelquefois une spore secondaire. En somme, les choses se passent comme pour les zoospores d'été.

Les zoospores semblent attirées ou retenues par les stomates, qui en portent presque toujours beaucoup plus que les régions

tissulaires voisines. On en trouve fréquemment 2-3 au-dessus de quelques stomates, et, sans doute, peut-il y en avoir davantage. Cette attraction est peut-être due au dégagement d'oxygène, dont elles sont très avides, et qui est produit pendant le jour par les organes herbacés.

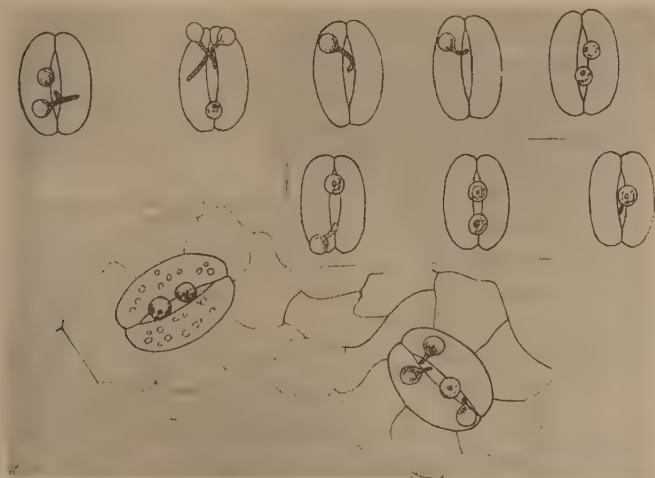


Fig. 32. — En haut, germination et pénétration dans les stomates des zoospores issues des conidies d'été ; en bas, germination et pénétration dans les stomates des zoospores issues des macroconidies

Là, elles émettent, tout comme les zoospores d'été, leur tube germinatif qui se dirige toujours vers l'ouverture stomatique et y pénètre tantôt obliquement, tantôt verticalement. C'est ce que montre la fig. 32. Dans le dernier cas, le tube germinatif apparaît sous l'aspect d'un petit cercle fortement coloré, si la préparation a été colorée à l'éosine.

**INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE.** — La lenteur relative avec laquelle les spores d'hiver évoluent, rend difficile et pénible la recherche de l'influence de la température sur leur évolution. Et comme nos matériaux d'études n'étaient pas très abondants, nous n'avons pu poursuivre l'étude méthodique de cette question.

Nos cultures ont presque été toutes faites en serre, dont la température, d'après les thermomètres enregistreurs, s'est maintenue durant la nuit, entre 9 et 10 degrés ; le jour elle atteignait 25° et même 28°. Cependant, le 27 mars, nous avons mis des fragments de feuilles dans une cave à la température constante de 12°5. Le 29, on aperçoit une macroconidie ; le 2 avril, les macroconidies sont déjà nombreuses.

Le 27 mars également, d'autres fragments de feuilles sont mis au fruitier, à la température constante de 11° indiquée par un enregistreur. Le 31 mars, on aperçoit une conidie bien formée et une seconde en voie de formation. Le 2 avril, il y a d'autres macroconidies formées.

Nous n'avons pu opérer à température plus basse.

Ainsi, à la température de 11-12°, qui est celle du départ de la végétation des vignes les plus tardives, il y a déjà production de germes actifs, mais il faut, en outre, pour cela, un séjour *très prolongé* dans l'eau ; double condition qui ne doit se réaliser que rarement au premier printemps.

CONTAMINATION. — Les zoospores issues de l'œuf d'hiver peuvent contaminer les feuilles et autres organes herbacés ainsi que le montrent les expériences suivantes :

11 février. Des fragments de feuilles contenant des spores d'hiver sont placés sur des verres de montre à fond plat, dans une mince couche d'eau. Température de la serre : 15° à 25°. Le 19 février, les macroconidies apparaissent et donnent aussitôt des zoospores. On dépose dans une goutte d'eau sur une feuille de Grenache, un fragment portant de nombreuses macroconidies. Le 26 février, la feuille de Grenache porte des conidiophores.

20 février. Un fragment de feuille portant des macroconidies est mis dans un peu d'eau. Au microscope, on suit l'accroissement de ces corps. Le protoplasme se divise en un grand nombre d'éléments qui paraissent animés d'une sorte de frémissement. Le sommet des conidies se renfle, se troue et, par les ouvertures, sortent en masse des zoospores. Avec l'eau qui les renferme, on infecte une feuille de Grenache ; le 2 mars, les conidiophores apparaissent.



24 février. Même essai d'infection sur une feuille d'Aramon, avec de l'eau contenant des zoospores issues des macroconidies. Le 3 mars, apparition des conidiophores.

5 mars. Une feuille de Grenache est infectée avec de l'eau où des macroconidies ont germé. Le 11 mars, les conidiophores apparaissent.

Millardet a cependant admis : « ... que les œufs ou « spores d'hiver » qui se forment dans l'épaisseur des feuilles, déterminent l'invasion vernale des vignobles par le mildiou ; lorsque ces organes de reproduction sont en contact pendant plusieurs semaines avec des graines de vigne en voie de germination, ils opèrent l'infection des jeunes semis et l'on voit apparaître le *Plasmopara viticola* avec ses efflorescences caractéristiques sur la face inférieure des cotylédons. Il suffit donc qu'une graine de vigne, jetée par l'homme ou disséminée par les oiseaux, germe dans le sol, au commencement de mai, en contact avec quelques fragments de feuille mildioussée, pour que la jeune plante se recouvre de conidies et que, par elles, sous l'action du vent et d'un temps favorable, la maladie se propage sur tous les ceps environnants ».

La contamination de la vigne par les cotylédons se réalise facilement.

Le 31 mars, on dépose sur des cotylédons bien développés, un fragment de feuille portant des macroconidies ; le 9 avril, des conidiophores apparaissent. Ils deviennent bientôt très nombreux et finissent par recouvrir d'une couche blanche continue, non seulement les cotylédons, mais encore toute la tige du jeune plant.

Les conidies d'été contaminent aussi les cotylédons.

Le 10 avril, des jeunes cotylédons sont infectés avec de l'eau contenant des conidies d'été ; le 20 avril, toute la jeune plante est couverte de conidiophores.

En somme, les cotylédons sont envahis par le Mildiou comme tous les organes herbacés de la vigne. Leur structure est même plutôt favorable à l'évolution du champignon, mais ils ne sont pas seuls à être contaminés par les spores d'hiver, ainsi qu'on

l'a vu par les expériences précédentes. En somme, l'hypothèse formulée par Millardet n'est pas nécessaire ; et au reste, dans les vignes cultivées, les plants issus de graine sont si rares, qu'ils ne peuvent jouer aucun rôle important dans le développement de la première invasion.



Fig. 33. — Spores épineuses observées dans de vieilles feuilles de vigne ayant contenu des spores d'hiver.

DURÉE DES FACULTÉS GERMINATIVES DES SPORES D'HIVER. — Des feuilles renfermant des spores d'hiver et conservées dehors, sur du sable, depuis l'automne 1911, ont été placées à plusieurs reprises dans des verres de montre avec un peu d'eau. Nous n'avons jamais vu apparaître des macroconidies. Les spores d'hiver perdraient donc très vite leurs facultés germinatives. Mais en est-il toujours ainsi ?

Telle est l'organisation et le développement du *Peronospora viticola*. Il possède deux sortes d'organes reproducteurs : les uns, les *conidiophores*, se forment pendant la durée de la végétation de la vigne ; ils portent un nombre énorme de germes et propagent la maladie pendant la belle saison. Les autres, les spores d'hiver se forment dans les tissus ; plus résistants, ils assurent la perpétuation du parasite d'une année à l'autre.

## CONDITIONS DE DÉVELOPPEMENT

---

Le développement du Mildiou est étroitement lié aux conditions de milieu, température et humidité. On le vit bien dès son apparition en France, ainsi que l'établissent les passages suivants, extraits des premières publications sur l'allure de la maladie :

En 1879, il est déjà répandu. « Le 16 et le 17 septembre, après une *pluie torrentielle de trente-six heures*, le docteur Menudier, de Saintes, le voit apparaître brusquement sur des Jacquez de semis et bientôt après sur des Malbecs. — Dans le Poitou, la même année, c'est après une *longue série de pluies*, que les premières taches de Mildiou apparurent en septembre (1).

« Vous avez eu, écrit G.-E. Meissner, en Europe, un été et un automne excessivement humides avec des changements brusques de température, et ce sont précisément ces conditions atmosphériques, comme nous l'avons remarqué ici, qui favorisent le plus le développement du Mildiou.... Nous avons eu ici (E.-U.), cette année, au contraire, un été et un automne extraordinairement secs et chauds et conséquemment nous avons échappé en 1879 presque tout à fait à notre Mildiou (2) ».

La relation qui paraît exister entre le Mildiou et les conditions climatiques et surtout l'humidité, s'accuse déjà nettement.

En 1880, le Mildiou ne paraît pas devoir être inquiétant dans l'Hérault. Planchon, qui l'a découvert et le suit de très près, ne le mentionne pas.

---

(1) *Vigne américaine*, 1880, p. 11.

(2) G.-E. MEISSNER. *V. A.*, 1880. p. 149.

Mais dans les Pyrénées-Orientales, il cause, à l'arrière-saison, quelques dégâts : « Le 18 septembre tout le vignoble Roussillonnais perdait ses feuilles à la suite de coup de soleil, disaient les viticulteurs, tandis qu'il me fut très facile de constater que c'était le Mildiou qui, favorisé par des *pluies d'orages* survenues dans la première quinzaine de septembre, suivies de fortes poussées de chaleur, avaient envahi les Jacquez et les plants indigènes ».

C'est donc encore la pluie qui fait éclore cette maladie. Le temps sec doit l'arrêter.

« M. B. Herran vient de m'affirmer, dit Planchon, que, conformément à nos prévisions, il a suffi d'un vent sec pour arrêter de bonne heure (en Algérie) le développement de ce fléau et sauver à temps les récoltes menacées ».

Dans le Sud-Ouest, le Mildiou est signalé dans les pépinières à partir du 4<sup>er</sup> août. Ces pépinières avaient été *arrosées* pendant le mois de juillet avec excès tous les deux jours.

Et cela tend à démontrer que l'humidité du sol joue un rôle important dans l'apparition et le développement de la maladie.

« Dans la vallée de la Saône, dans l'Ain, sur les bords du lac Léman, les vignes plantées en terrains bas ou profonds ou à proximité des rivières et des ruisseaux ont perdu une partie de leurs feuilles par le Mildiou. Les vignes situées sur les coteaux sont peu atteintes. Les vignerons l'attribuent à un « brouillard qui aurait passé sur la vigne », fait qui aurait existé de tout temps, surtout dans les années humides ».

Il est inutile d'insister davantage sur ce point.

**GERMINATION.** — INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE. — De toutes les phases du développement du parasite c'est la germination des conidies qui nous a paru la plus influencée par la température ; le tableau suivant le montre nettement :

---

(1) V. PULLIAT. *Vigne américaine*, oct. 1880.

Températures	Durée de la germination	Températ.	Durée de la germination
5°	Pas de germination	18°	1 h.
6°5	17 à 18 heures (?)	20°	58'
7°	5 h 43'	22°	55'
8°	4 h 15'	23°	50'
9°	3 h	24°	40'
10°	2 h 45'	25°	40'
11°5	2 h 5'	29°	12 h. (?)
13°	1 h 35'	30°	20 h. (?)
15°5	1 h 15'	35°	

Les résultats exposés dans ce tableau sont rendus graphiquement dans la fig. 34, courbe A.

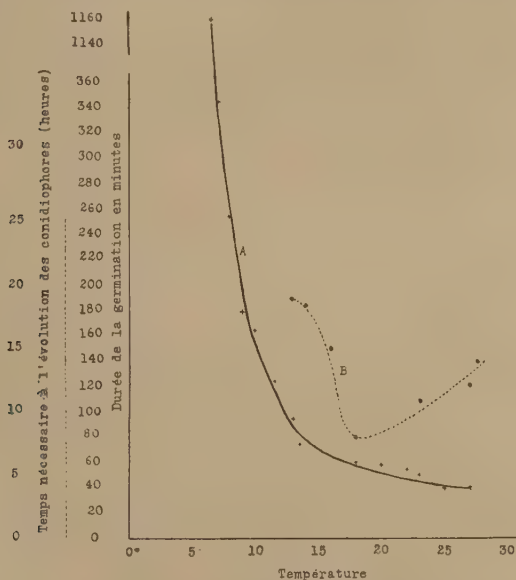


Fig. 34.

Ainsi, aux températures relativement basses, les conidies produisent des zoospores. Déjà, à 6°5, elles germent mais très lentement et à 10°, température à laquelle la vigne évolue à peine, leur germination est rapide.

La durée de la germination se réduit de plus en plus jusqu'à 27°, où elle n'est que de 40 minutes. À partir de 28-29°, elle devient plus laborieuse. Seules, quelques conidies évoluent en zoosporange, sans doute parce que leur transformation était plus avancée au moment de l'ensemencement ou peut-être aussi parce qu'elles sont plus résistantes à la chaleur. À 30°, le nombre des conidies germantes est extrêmement réduit, même après 24 heures de séjour dans l'eau ; il égale zéro à 33 degrés.

La partie droite ascendante de la courbe A n'a pu être établie avec des données numériques de même ordre, que celles qui ont servi pour le tracé de la portion descendante.

Mais tandis qu'aux basses températures, les conidies ne sont pas endommagées et peuvent germer ultérieurement, si les conditions redeviennent favorables, il n'en est pas de même pour celles qui sont restées en route à des températures élevées : elles paraissent avoir définitivement perdu leurs facultés germinatives ; leur contenu est souvent ratatiné. M. de Istwanffy a fait les mêmes remarques (1).

*Influence de la congélation.* — Que deviennent les conidies frappées par les gelées, soit de printemps, soit d'automne ? Pour répondre à cette question, nous avons soumis quelques verres de montre, ensemencés, comme il a été dit plus haut, à la température de 12 degrés au-dessous de zéro, maintenue pendant 15 heures. Puis on a laissé le dégel s'effectuer plutôt lentement, et les verres de montre ont été mis ensuite à la température de la serre. Les conidies congelées ont germé presque aussi rapidement que les conidies normales. Elles n'ont donc rien à redouter des froids même très vifs.

Il résulte de ces recherches que l'évolution des conidies en zoospores est extrêmement rapide à toutes les températures où s'effectue la végétation de la vigne, par temps de pluie ou de brouillard. Les températures supérieures à 29 degrés se produisent toujours par un beau temps ; il n'y a pas lieu de les envisager et on sait qu'elles sont plutôt défavorables.

---

(1) G. DE ISTWANFFY et PALINKAS. *Étude sur le Mildiou de la vigne*, Budapest, 1913.



Quant à la germination des zoospores, elle a lieu même aux basses températures, comme celle des conidies ; elle en est la suite naturelle et constante.

INFLUENCE DE L'HUMIDITÉ. — Les conidies ne germent que dans l'eau ; dans l'air humide, même à saturation, elles ne donnent pas de zoospores. Cela résulte des essais suivants :

Le 11 janvier, sur des lamelles de verre placées sous cloche très humide, sont déposées des conidies, sans eau. A la température de la serre, qui a varié de 17 à 27 degrés, aucune germination n'a eu lieu.

Mais conservent-elles longtemps leurs facultés germinatives ? Les expériences suivantes donnent une réponse à cette question.

1° Le 4<sup>er</sup> février des conidies sont déposées sur la face supérieure d'une feuille de Grenache en serre à une température variant entre 15 et 32 degrés et un état hygrométrique de 65 à 85 o/o.

Examinées le 7 février, ces conidies ont un contenu granuleux et contracté ; déposées dans l'eau de pluie stérilisée, elles n'ont pas germé.

2° Le 16 février même expérience. État hygrométrique : 55-80 %. Observées 24 heures après, les conidies présentent déjà les mêmes altérations que précédemment ; elles ne germent pas non plus.

3° Le 13 mars, des conidies sont mises dans des verres de montre placés sous cloche très humide, à une température supérieure à 20°. On ajoute de l'eau après 2, 3 et 7 heures. Les conidies ont germé.

4° Le 23 mars même expérience. Au bout de 2, 3, 4 jours, la plupart des conidies ont germé, mais les plus petites d'entre elles présentent un contenu granuleux et paraissent ratatinées comme celles laissées à l'air libre.

Au bout de 5 jours, on n'observe plus que quelques germinations et après 6 et 7 jours, aucune conidie ne germe.

Ainsi, dans les conditions de cette expérience, c'est-à-dire dans l'air très humide, les conidies ne conservent leurs facultés germinatives que pendant cinq jours au plus.

Elles perdent, en milieu moins humide, très vite leurs facultés germinatives et, probablement, exclusivement sous l'influence de la dessiccation. Quelques heures de soleil doivent suffire pour tuer celles qui sont venues se déposer sur les organes de la vigne ; et ainsi, on n'a rien à craindre des apports faits par le vent sec, non plus que de l'accumulation des germes sur ces mêmes organes. Les vents humides sont évidemment plus redoutables. Au fond, il faut craindre les germes qui se forment quand se réalisent les conditions favorables à leur germination et, en conséquence, c'est la réalisation simultanée des conditions de température et d'humidité nécessaires à leur formation, c'est-à-dire à l'apparition des invasions, qui est la plus redoutable.

L'hiver, les causes de dessiccation sont peut-être moins nombreuses.

**CONTAMINATION.** — Longtemps on a pensé que les zoospores pénétraient dans les feuilles par la face supérieure et à travers la cuticule et l'épiderme. Dans un ouvrage sur les maladies des plantes agricoles, M. Prillieux écrit ceci : Devenues immobiles, elles (les zoospores) prennent une forme globuleuse, puis émettent un petit tube de germination qui est capable de percer l'épiderme d'une feuille de vigne et de pénétrer à son intérieur ». Des expériences de Millardet ont contribué à accréditer cette opinion. En voici une que je rapporte ici in-extenso :

« Le 19 septembre, dit-il, quatre feuilles adultes de Chasselas sensiblement de même âge puisqu'elles étaient placées l'une à la suite de l'autre sur le même sarment, sont cueillies dans l'orangerie, chacune avec un fragment de la tige qui la porte, et lavées avec soin sur les deux faces, à l'aide d'une brosse fine, dans l'eau de pluie. Elles sont ensuite placées à l'obscurité, le fragment de tige qui porte chacune d'elles plongé dans un verre contenant de l'eau. Lorsque toute trace d'eau à leur surface a disparu, les deux verres qui les contiennent sont placés sous deux grandes cloches reposant sur deux plats dont le fond est recouvert d'eau. Sur les parois des cloches un papier à fil-

trer imbibé d'eau sert à maintenir une humidité constante. Les cloches sont placées à l'orangerie, l'une à côté de l'autre, dans un demi-jour.

» Le 20, de 1 heure à 2 heures de l'après-midi, une cinquantaine de touffes de Mildiou, bien fraîches et en pleine végétation, sont râclées sur des feuilles, à l'aide d'un scalpel fin, et plongées, au fur et à mesure de leur préparation, dans deux centimètres cubes d'eau de pluie contenue dans un verre de montre.

» A 4 heures, on s'assure, en examinant au microscope quelques gouttes de l'eau du verre de montre, que cette eau fourmille de zoospores en mouvement. On peut estimer qu'il y a une cinquantaine de ces animalcules dans une goutte d'eau d'une certaine grosseur.

» A l'aide d'une petite baguette de verre que l'on plonge d'abord dans l'eau du verre de montre et que l'on porte ensuite sur les feuilles, on dépose à la surface de ces dernières de petites gouttes d'eau de la grosseur de celles dont il vient d'être question, c'est-à-dire qui contiennent une cinquantaine de zoospores en mouvement.

» L'une des feuilles (A) reçoit 100 gouttes d'eau disposées régulièrement à l'aisselle des ramifications principales des nervures sur sa face supérieure.

» L'autre (B) reçoit 120 gouttes disposées de la même façon à la face inférieure.

» La troisième (C) reçoit 80 gouttes sur la face supérieure de sa moitié droite et 90 gouttes sur la face inférieure de sa moitié gauche.

» La quatrième feuille (T) ne reçoit aucune semence de peronospora et sert de témoin.

» L'opération terminée, les cloches sont remises en place sur les feuilles en expérience.

» Quarante-huit heures après, le 22 dans l'après-midi, elles sont relevées et les feuilles examinées. A ce moment, les gouttes de l'infection légèrement diminuées par l'évaporation, sont toutes encore très visibles. On laisse les cloches ouvertes jusqu'à

ce que les gouttes aient disparu puis on les replace sur les feuilles.

» Jusqu'au 26, à midi, aucun changement.

» Le 27 à midi : A, rien ; B, 23 petites touffes de *Peronospora* correspondant aux points infectés ; C, moitié droite, rien ; moitié gauche, 50 petites touffes de *Peronospora* correspondant aux points infectés ; T, rien.

» Le 28, à midi : A, rien ; B, 82 touffes de *Peronospora* correspondant, etc., et dont quelques-unes reposent sur des taches légèrement brunâtres par transparence ; C, moitié droite, 2 touffes correspondant, etc. ; moitié gauche, 72 touffes correspondant, etc. ; T, rien.

» Le 29, à Midi : A, 2 touffes correspondant, etc. ; B, 101 touffes, la plupart reposant sur des taches brunâtres de la feuille ; C, moitié droite, pas de changement ; moitié gauche, 74 touffes sur taches brunâtres ; T, rien.

» Le 30, à midi : A, 3 touffes correspondant, etc., sur taches brunâtres ; B, 108 touffes correspondant, etc., la plupart sur taches brunes et commençant à se dessécher au centre ; C, moitié droite, pas de changement autre que l'extension et le brunissement des taches ; moitié gauche, 80 touffes, etc. ; T, rien.

» Le 2 octobre, pas de changements. A cette époque, les touffes de *Peronospora* ainsi que les taches brunes sur lesquelles elles reposent, sont une fois et demie à deux fois aussi larges qu'elles étaient dès l'origine et ces dernières commencent, pour la plupart, à se dessécher au centre. Enfin, depuis quatre jours, les feuilles se sont nuancées de jaune au pourtour des taches. La feuille C, par exemple, à sa moitié gauche, est régulièrement marbrée de jaune et de vert, tandis que la moitié droite possède une couleur normale sauf aux deux points où l'infection a réussi.

» Pendant la durée des observations, les minima (6 heures du matin) ont varié entre 16° et 19° C., et les maxima (2 heures du soir), entre 21° et 29° C., ce qui donnerait une température moyenne de 20°5 environ.

» Cette expérience démontre que si, dans les conditions de

température d'humidité, etc., dans lesquelles nous opérions, les infections sur la face inférieure des feuilles de Chasselas réussissent dans la proportion de 90 o/o; sur la face supérieure elles ne réussissent guère que dans celle de 3 o/o. C'est pour cette raison que nos essais ultérieurs d'infection ont eu lieu sur la face inférieure des feuilles.

» Ceci n'empêche pas qu'à l'état normal, l'infection des feuilles n'ait lieu, la plupart du temps, par la face supérieure de ces organes. Il sera bon de remarquer que le Chasselas dont nous nous sommes servis, faute d'un autre cépage, pour nos expériences, est, parmi les variété européennes, une des plus résistantes au Mildiou ».

Cette conclusion, qui ne découle pas naturellement de l'expérience, et a été acceptée pendant longtemps, paraissant du reste pleinement justifiée par les bons résultats des traitements appliqués à la face supérieure des feuilles.

La question a été reprise dans ces dernières années, d'abord par Ruhland et Faber, puis par Müller-Thurgau. Ce dernier, notamment, a fait de nombreuses tentatives d'infection par la face supérieure et la face inférieure sur les cépages Pinot et Chasselas. Les infections de la face supérieure n'ont jamais abouti à un succès; celles de la face inférieure ont réussi, au contraire, dans la proportion de 33 à 94 o/o.

Et l'auteur conclut : « Nous ne sommes jamais arrivé, dans de nombreux essais, à infecter une feuille à sa face supérieure, même en répandant de l'eau contenant des spores, le long des nervures, où se trouvent cependant quelques très rares stomates. Le *Plasmopara viticola* n'a, de même, jamais pu pénétrer par des déchirures faites à l'épiderme de la face supérieure... (1) »

Gregory obtint les mêmes résultats dans des expériences qu'il a faites en Amérique, en 1912, et dont voici le détail (2):

---

(1) MÜLLER-THURGAU, in *Progrès agricole et viticole*, 1911.

(2) GREGORY. *Loc. cit.*

## ESSAIS D'INFECTION

Dates	Inoculation			Infections réussies	
30 juin	3	feuilles	face supérieure	0	
9 juillet	7		—	0	
14 —	6		—	0	
				Dessous	Dessus
19 juillet	16	inoculations	dessous	4	dessus
28 —	18		—	»	13
30 —	33		—	8	—
1 <sup>er</sup> août	29		—	9	—
5 —	40		—	»	8
6 —	65		—	»	10
13 —	60		—	3	—
15 —	58		—	»	24
16 —	57		—	»	46
18 —	50		—		47
19 —	37		—		34
23 —	»			37	—
24 —	»			40	—
28 —	»			56	—
31 —	»			38	—
Totaux	454			195	

MM de Istwanffy et Palinkas ont obtenu des résultats différents. En « déposant » les gouttelettes d'inoculation ou sur les nervures, ou seulement sur les dents ou dans les angles formés par les nervures (c'est-à-dire aux endroits où se trouvent les stomates) les infections ont réussi suivant le cépage dans la proportion de 3 à 12 %, alors qu'à la face inférieure la réussite a atteint 95 à 98 % (1)

Dans nos essais, les infections de la face supérieure n'ont donné souvent aucun résultat. Il en est ainsi, semble-t-il, quand on opère sur des feuilles qui sont arrivées à l'état adulte. Par contre, sur des feuilles en voie de croissance rapide, on obtient quelques succès le long des nervures et sur les dents qui, comme on le sait, portent aussi des stomates.

(1) G. DE ISTWANFFY et PALINKAS. *Loc. cit.*



Nous concluons de tout ceci : que dans la pratique, la contamination des feuilles a lieu généralement à la face inférieure, par des germes qui ont pu y être apportés directement par le vent, mais qui, le plus souvent, viennent, ainsi que nous avons pu l'établir, de la face supérieure en nageant dans l'eau de pluie ou

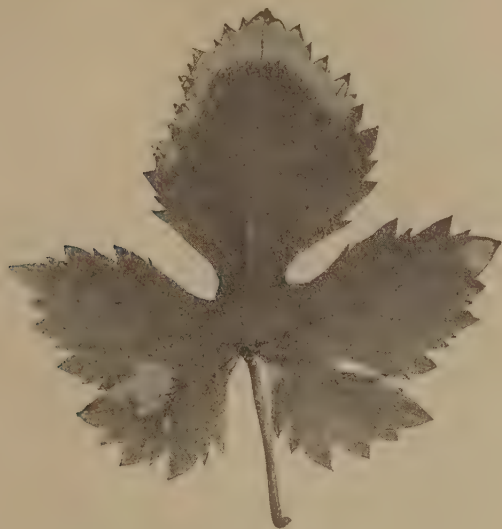


Fig. 33. — Taches de Mildiou sur le bord de la feuille

de rosée, recouvrant partiellement ou totalement les deux faces. C'est pourquoi, les altérations sont si souvent localisées sur le pourtour des feuilles, comme le montrent les fig. 35 à 38.

C'est par les stomates que le tube germinatif pénètre dans les tissus. Il semble même que les zoospores sont attirées par l'ouverture stomatique, car elles y sont plus nombreuses que sur les tissus environnants. La figure 32 montre comment les choses se passent, que les zoospores proviennent des conidies d'été ou des macroconidies.

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE. — Nous avons déjà montré que, dans les conditions de température très favorables, la contami-

nation est rapidement réalisée. En est-il de même à toutes les températures où la germination est possible ? Pour résoudre cette question, nous avons fait les expériences suivantes :

I. — Le 22 février, à huit heures du matin. — Des feuilles



Fig. 36. — Feuille mildiosée montrant la localisation du mildiou sur les bords.

jeunes et adultes d'Aramon sont infectées par des gouttes d'eau aux températures suivantes :

1° à 8° ; 2° à 10° ; 3° à 12° ; 4° à 14° ; 5° Témoin à la température de la serre, qui s'est maintenue entre 23 et 33 degrés.

Le soir, à 5 heures, soit 9 heures plus tard, les gouttes d'eau sont évaporées et toutes les feuilles sont mises sous cloche à humidité très élevée ; 90-100° ; température de la serre, 22-30°.

Le 26 février, soit 4 jours après à 6 h. 1/2 du matin, les feuilles infectées à 14 degrés et les témoins portent des touffes de conidiophores.

Le 27 février, les feuilles infectées à 12 degrés et 10 degrés portent des conidiophores.

II. — Le 1<sup>er</sup> mars. — Même expérience et à la température constante de 23 degrés. Mêmes résultats.



Fig. 37. — Taches isolées sur le pourtour de la feuille.

Pas de résultat à cette date, sur les feuilles infectés à 8 degrés.

III. — Le 27 février, à sept heures et demie du matin.

Même expérience que précédemment et aux températures de :

1° à 8° ; 2° à 9° ; 3° à 10° ; 4° Témoin à la température de la serre qui s'est maintenue entre 24 et 31 degrés.

Le 3 mars, à trois heures du matin, toutes les feuilles jeunes et adultes infectées à ces températures portent des touffes de conidiophores encore peu développées.



Fig. 38. — Taches nombreuses surtout sur les bords. .

IV. — Le 4 mars à huit heures du matin.

Même expérience que les précédentes aux températures de :

1° à 7° ; 2° à 8° ; 3° Témoin à la température de la serre qui a varié de 18 à 35 degrés.

Le 9 mars, les feuilles témoins portent des touffes très denses de conidiophores et le 10, les feuilles infectées à 8° portent des fructifications. A 7 degrés, il n'y a pas eu contamination.

Il résulte nettement de ces essais que les feuilles de vigne peuvent être contaminées même à basse température, par conséquent dès le départ de la végétation, si à ce moment il y a des germes actifs. Or, les invasions très hâtives sont très rares. Si donc elles ne se produisent pas plus souvent, c'est ou bien que les germes font défaut — ce qui est possible — ou bien que les conditions de température nécessaires au développement du champignon dans la feuille et à son apparition au dehors, ne se réalisent pas. Si les spores d'hiver n'évoluent qu'à la température que nous avons indiquée, c'est seulement lorsque les feuilles seront couvertes d'eau à la température de 11° au moins qu'elles pourront être contaminées.

TEMPS NÉCESSAIRE A LA CONTAMINATION. — Les zoospores issues des conidies, comme nous l'avons indiqué dans une précédente note, émettent bientôt un — quelquefois deux — filament germinatif qui doit pénétrer dans la feuille pour y développer la maladie. Au bout de combien de temps est-il implanté suffisamment dans les tissus pour n'avoir plus besoin de la goutte d'eau nécessaire à sa première évolution ? Müller-Thurgau a répondu à cette question de la manière suivante : « Nous avons aussi infecté de petites gouttelettes d'eau à la face inférieure de feuilles fraîchement cueillies en plein vignoble. Pour empêcher une évaporation trop rapide de l'eau, les feuilles furent placées dans des récipients dont les parois étaient recouvertes de papier-filtre humide. D'après nos observations, les zoospores, qui sont à proximité immédiate des stomates, donnent très vite naissance à des tubes germinatifs ; ceux-ci pénètrent de suite dans l'ostiole et tuent rapidement les premières cellules des tissus avec lesquelles leurs suçoirs sont en contact. Trente-six heures après l'infection, nous avons déjà trouvé des cellules détruites

de cette façon. A une température de 20° C, trois heures suffisent, dès le dépôt des spores dans les gouttes d'eau, pour que le tube germinatif pénètre dans le stomate ; l'infection a donc lieu rapidement» (1).

Il nous a paru bon de vérifier ces conclusions par des expériences directes. A cet effet, une souche portant des pousses très tendres, a été mise dans une chambre humide constituée par une cloche reposant sur un plateau plein. On réalise ainsi un état hygrométrique de 99, 100°. Puis, à chacune des heures suivantes, on a semé, sur des goutte d'eau mises à la face inférieure des feuilles, des conidies bien fraîches.

L'ensemencement a donc été réalisé comme suit, et à une température qui s'est maintenue entre 18 et 21°.

Le 8 janvier à 6 heures, ensemencement sur la feuille 1				
8	—	—	—	2
9 h. 1/2	—	—	—	3
10	—	—	—	4
11	—	—	—	5
12	—	—	—	6
1	—	—	—	7
3	—	—	—	8

La cloche a été maintenue, après le dernier ensemencement, pendant une heure, puis elle a été enlevée et toutes les gouttes d'eau avaient disparu 40 minutes plus tard. Les germes ont donc baigné dans l'eau pendant :

10 heures 40 pour la feuille 1				
8	—	40	—	2
7	—	40	—	3
6	—	40	—	4
5	—	40	—	5
4	—	40	—	6
3	—	40	—	7
1	—	40	—	8

Le 10 janvier, à 8 heures du matin, soit 39 heures plus tard,

---

(1) MULLER-THURGAU. *Loc. cit.*



on replace la cloche de manière à constituer, en l'absence de toute goutte d'eau sur la feuille, un état hygrométrique favorable à l'évolution du champignon dans les tissus.

Le 13 janvier, le mildiou apparaît sur toutes les feuilles inoculées et exclusivement sur elles. Il suffit donc, dans les conditions où nous nous sommes placés, que les germes du mildiou séjournent dans l'eau, au plus, pendant une heure et demie pour que la feuille soit désormais contaminée.

Les feuilles de tout âge peuvent être contaminées, même les plus jeunes, contrairement à l'opinion de Müller-Thurgau. L'expérience citée plus haut l'établit nettement. Les feuilles encore en voie de croissance rapide prennent facilement la maladie. Les feuilles adultes, même les plus âgées, peuvent être aussi contaminées, car pourquoi le filament germinatif ne pénétrerait-il pas dans les stomates des vieilles feuilles? Mais il s'y développe parfois, dans la suite, plus lentement.

*Grappes.* — La contamination des grappes présente quelques particularités que les expériences suivantes vont mettre en évidence.

*I.* — Grappe de Servan-Rond, attenante à la souche et portant des grains bien noués, de 10<sup>mm</sup> de diamètre. Cette grappe est mise et maintenue sous cloche saturée d'humidité. Dès le 19 mars, des gouttes d'eau, renfermant des conidies, sont déposées :

- 1° Sur le pédoncule et l'axe de la rafle ;
- 2° Sur les pédicelles ;
- 3° Sur les bourrelets ou couronnes des pédicelles ;
- 4° Sur les grains.

*Résultats.* — Le 31 mars, soit 12 jours après l'infection, des conidiophores apparaissent sur les bourrelets directement infectés. Les grains portés par les bourrelets à conidiophores prennent en même temps la teinte brune caractéristique du rot brun ; dans leurs tissus, le mycélium du *Plasmopara*.

1<sup>er</sup> avril. — Les conidiophores n'ont pas augmenté en nombre, mais les grains altérés sont plus nombreux, ou plus forte-

ment brunis. Mycélium du *Peronospora* dans les tissus du grain et autour des pépins.

Sur les rafles, pédicelles et grains, pas de mildiou aux points d'infection.

*II.* — Grappe de Grenache, dont les fleurs ne sont pas encore épanouies. Cette grappe attenante à la souche, est mise sous cloche humide le 30 mars et infectée aussitôt avec des gouttes d'eau renfermant des conidies déposées :

1° Sur la raffe et les fleurs ;

2° En certains points sur les fleurs seulement.

Le 4 avril, soit 5 jours plus tard, les paquets de fleurs infectés présentent déjà une teinte brun-verdâtre, symptôme très net d'un commencement d'altération.

Le 5 avril, les points altérés se couvrent de conidiophores développés seulement sur les pétales.

Le 7 avril, les conidiophores apparaissent sur les pédicelles et sur la raffe.

*III.* — Une grappe de Servan rond, à grains de 12<sup>mm</sup> de diamètre est détaché de la souche avec le sarment qui la porte. Celui-ci est aussitôt plongé dans l'eau. D'autre part, quelques grains détachés sont immergés dans l'eau par leur pédicelle. Le tout est mis sous cloche humide, et tous ces organes, pédoncule, pédicelle, bourrelets et grains, sont infectés le 30 mars, avec des gouttes d'eau renfermant des conidies fraîches.

En même temps, une feuille est infectée avec les mêmes germes.

*Résultats.* — Le 5 avril, les conidiophores apparaissent sur la feuille autour des gouttes d'eau, qui ont persisté jusqu'à ce jour; aucun d'eux ne se montre sous les gouttes d'eau. C'est là une nouvelle confirmation d'un fait que nous avons précédemment établi.

Le 7 avril, le Rot brun apparaît sur des grains dont les pédicelles ont été infectés sur les bourrelets.

Quelques rares conidiophores se montrent aussi sur le pédoncule, infecté directement, et, le 13 avril, sur les pédicelles.

Les grains de raisin infectés sont, à ce jour, absolument intacts.

*IV.* — Grappe de Grenache, attendant à la souche, très jeune, les fleurs sont presque rudimentaires. Infection sous cloche humide le 5 avril. Les conidies sont déposées exclusivement sur les sommets des grappillons terminaux et, par conséquent, sur les corolles.

Le 12 avril, nombreux conidiophores sur les corolles; la grappe se recourbe en S, ce qui indique que le mycélium a envahi le pédoncule.

Le 13 avril, les conidiophores apparaissent sur les pédicelles et les pédoncules.

Le 22 avril, les conidiophores se montrent à la base même du pédoncule.

Le mal peut donc cheminer du sommet de la grappe vers sa base.

Il résulte de ces expériences : 1° Que les grappes conviennent moins bien au mildiou que les feuilles. Les invasions s'y manifestent toujours en retard. L'écart est de un ou deux jours pour les fleurs et les bourrelets des pédicelles; il est beaucoup plus grand pour les pédicelles et les pédoncules. Cela explique, croyons-nous, la non simultanéité des invasions des feuilles et des grappes qu'on a souvent remarquée dans les vignobles. Mais cela explique aussi la rareté des invasions des grappes. Les invasions sont caractérisées par la sortie des conidiophores blancs, ou par la présence de taches latentes bien apparentes. Pour qu'elles deviennent apparentes sur les grappes, il faut évidemment que les conditions d'humidité et de température, nécessaires à leur apparition, persistent plus longtemps, ou soient encore plus favorables que pour les invasions des feuilles. Ces dernières peuvent donc se déclarer, même avec une grande intensité, alors que les premières ne se montrent point.

2° Les corolles sont les organes de la fleur qui conviennent le mieux au mildiou. Viennent ensuite les bourrelets. Les tissus

de ces organes sont lacuneux et, à l'extérieur, portent de nombreux stomates. Contamination et développement sont donc ici relativement faciles.

Sur les pédicelles et surtout sur les pédoncules, la contamination réussit moins souvent : les lésions s'y produisent aussi plus lentement. Pourquoi ? Les stomates sont ici peu nombreux. On en compte 3, 7 par millim. carré, tandis que les feuilles en portent 27, soit 7 fois plus. Les chances de contamination sont donc 7 fois moins grandes. Enfin, les tissus sont relativement denses et peut-être aussi plus secs.

Quant aux grains, ils n'ont jamais pu être contaminés durant nos essais d'infection. C'est aussi qu'ils ne portent pas de stomates. Peuvent-ils l'être par le stigmate et seulement pendant la floraison ? Peut-être, mais cette période de réceptivité possible est si courte, qu'il n'y a pas lieu d'y attacher beaucoup d'importance.

Ce fait, bien établi, de l'immunité des grains est d'un haut intérêt. Il n'y a donc pas lieu de chercher à les protéger directement contre la maladie. Ce qu'il faut protéger, c'est surtout le bourrelet, parce que ses tissus sont très vulnérables, et parce que c'est à sa surface que l'eau de pluie ou de rosée s'accumule et séjourne le plus longtemps.

**FORMATION DES CONIDIOPHORES** (taches blanches). — **INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE.** — Nous avons établi la relation qui existe entre la germination des conidies et zoospores et la température. Une fois dans les tissus, le filament germinatif, devenu mycélium, se développe-t-il suivant la même loi ? Autrement dit, les conidiophores, qui en sont l'aboutissement extérieur, peuvent-ils apparaître aux températures où les conidies germent déjà ou germent encore ? Telle est la question qu'il convient de chercher à résoudre. Elle n'est pas sans intérêt. Si on a à redouter la germination des conidies, on a d'abord à craindre leur formation ; et les conditions qui assurent leur naissance sont tout aussi tout dommageables que celles qui président à leur transformation en zoospores.

Pour ces recherches, on a toujours opéré dans un milieu très humide, consistant en une cloche placée au-dessus d'un plateau contenant de l'eau. On réalise ainsi une chambre humide à 99-100° d'humidité au psychromètre et dans laquelle, si la température est suffisante, les conidiophores se montrent régulièrement.

C'est dans plusieurs enceintes de cette nature, contenant toutes un hygromètre, que les feuilles contaminées ont été placées, le pétiole plongeant entièrement dans l'eau ; elles s'y conservent fraîches pendant plusieurs jours.

Les feuilles que nous avons mises en œuvre ont été prises jusqu'au milieu de janvier sur des ceps situés en pleine vigne ; l'hiver a été si doux, en 1912, que les ceps un peu abrités ne se décidaient pas à s'effeuiller. Toutes portaient des petites taches d'automne, produites par le mildiou, mais dont les conidiophores avaient disparu ou ne s'étaient pas montrés. Toutes, en chambres humide convenable, ont émis des conidiophores en quelques heures : le mildiou y était donc à l'état latent.

A partir de janvier, et pour la deuxième partie d'expériences, qui était une série de contrôles, nous avons fait usage de feuilles nouvelles, prises sur des souches élevées en serre. Ces feuilles, à mildiou latent, il est facile de les obtenir. On les infecte d'abord, sous chambre humide, avec des conidies fraîches ; puis, lorsque les premiers conidiophores se montrent, soit 4-5 jours après l'ensemencement, on arrête leur développement extérieur. Mais le mycélium continue à se développer lentement dans les tissus qui jaunissent ou se décolorent sur une étendue de plus en plus grande. On peut maintenir le mycélium pendant fort longtemps à l'état de plante souterraine. Dans les vignobles, il persiste sous cet état pendant des mois ; il n'y a pas de raison pour qu'il en soit autrement chez les vignes de serre. En tout cas, ces feuilles ainsi infectées sont d'excellents matériaux d'études.

Aux températures de 3-4 degrés au dessous de zéro, les feuilles et tous les organes herbacés gèlent. Qu'advient-il du mycélium du mildiou qu'ils renferment ? Pour en décider, nous avons

soumis des feuilles fraîches, portant des taches latentes, à la température de 10-12 degrés au-dessous de zéro pendant 23 heures, et l'on a laissé le dégel se produire lentement ; les feuilles ont été ensuite mises sous cloches à 99-100° d'humidité, à la température moyenne de 26°. Résultats : La feuille reste gorgée d'eau, mais aucun conidiophore n'apparaît au dehors. Est-ce parce que le mycélium est détruit, ou bien parce que les tissus de la feuille ne lui conviennent plus ? Question à résoudre.

Ce qui est certain, c'est que le mycélium résiste à quelques degrés de froid. Les 29, 30, 31 décembre derniers, eurent lieu des gelées de — 3°2 et — 3°6 à 20 centimètres du sol. Un certain nombre de jeunes pousses de vignes étant encore à l'air libre et à l'état de vie active furent assez fortement endommagés par ces froids. Mais, à côté de régions tissulaires détruites, s'en trouvaient cependant d'autres bien vivantes, et qui avaient nécessairement subi les mêmes abaissements de température. Ces jeunes pousses, ainsi partiellement gelées, mises sous cloche humide à la température de 18°-26°, portaient des conidiophores bien nets au bout de 20 heures.

Si ces essais montrent que le mycélium du *Plasmopara viticola* est résistant au froid, on ne peut en conclure qu'il est capable de se développer aux températures voisines de zéro. Pour suivre le développement des conidiophores, nous avons mis nos chambres humides à l'étuve Roux d'une part, et, d'autre part, dans des mélanges réfrigérants, maintenus à température constante, grâce à une surveillance vigilante, même la nuit. On notait aussi exactement que possible l'heure d'apparition des premières touffes blanches, et l'on a eu ainsi approximativement, la vitesse évolutive des conidiophores en fonction de la température, que donne le tableau suivant :

#### PREMIÈRE SÉRIE

Dates	Températures	Temps nécessaire à l'apparition des conidiophores
—	—	—
16 décembre	5°	Rien après 31 heures.
16 janvier	10°	—
16 —	11°	Rien après 34 heures



Dates	Températures	Temps nécessaire à l'apparition des conidiophores.
20 décembre	11°5	Sur 15 feuilles, une seule touffe de conidiophores.
16 janvier	12°	Rien après 31 heures.
16 janvier	13°	Quelques touffes après 21 heures.
16 décembre	14°	Touffes encore peu compactes après 24 heures.
—	15°5	Touffes bien développées après 24 heures.
—	22°	Touffes denses après 11 heures.
—	24°	Conidiophores très abondants.
—	25°	Conidiophores très abondants.
—	30°	Rien.
—	32°	Rien.
—	35°	Rien.

## DEUXIÈME SÉRIE

*Feuilles jeunes contaminées en serre*

Dates	Températures	Temps nécessaire à l'apparition des conidiophores.
18 janvier	10°	Rien après 24 heures.
—	11°	<i>idem</i>
—	12°	<i>idem</i>
—	13°	<i>idem</i>
—	14°	Touffes plus nombreuses et plus compactes qu'à 13° après 19 heures.
24 —	14°	Conidiophores après 18 heures.
—	16°	Touffes après 15 heures.
—	18°	Touffes après 8 heures.
26 —	23°	Touffes après 11 heures.
24 —	27°	Touffes après 12 heures.
13 février	27°5	Touffes peu développées après 14 heures.
22 janvier	30°	Rien, même près de l'eau.
—	35°	Rien.

Cette notation manque évidemment de précision. Pour obtenir des valeurs numériques précises, nous avons pensé mesurer les tiges des conidiophores, dont la hauteur est, elle aussi, fonction de la température. Aux basses températures, elles restent très courtes, nulles ou négatives, comme à l'automne. Aux températures élevées, elles sont très longues; elles prennent

quelquefois, semble-t-il, la gracilité des plantes qui ont poussé très vite. Mais les matériaux nous ont fait défaut; c'est un point qui pourra être repris. Les résultats exposés dans le tableau ci-dessus sont rendus graphiquement dans la figure 34, courbe B.

Mais, aux basses températures, quoique l'état hygrométrique fût toujours de 99-100°, le non-développement des conidiophores pouvait tenir à la faible quantité d'eau contenue dans l'air de la cloche. Nous avons alors mis, plongeant en partie dans l'eau, des feuilles à mildiou latent; la région de la feuille voisine de la surface de l'eau, était, par suite, placée dans des conditions d'humidité les plus favorables qu'on puisse réaliser; les conidiophores y sont apparus aux mêmes températures que sur les feuilles placées simplement à l'air humide, ainsi que le montre le tableau suivant :

### TROISIÈME SÉRIE

#### *Taches latentes immergées en partie dans l'eau*

Dates	Températures	Temps nécessaire à l'apparition des conidiophores
—	—	—
18 janvier	10°	Rien.
—	11°	Rien.
—	12°	Rien.
—	13°	Touffes de conidiophores sur la portion de tache hors de l'eau, après 19 heures.
—	14°	Conidiophores après 19 heures sur la partie hors de l'eau.

Il résulte de ces expériences que les conidiophores n'apparaissent que lorsque la température de 13 degrés est non seulement réalisée, mais encore maintenue pendant une vingtaine d'heures. Les températures inférieures sont inefficaces; elles doivent être éliminées. Or, à Montpellier par exemple, la température normale minima de 13 degrés ne se maintient régulièrement, pendant un temps suffisant, qu'à partir du 27 mai. C'est peut-être ce qui explique la rareté des invasions précoces.

C'est, semble-t-il, vers 20 degrés, que le mildiou apparaît le

plus vite hors des feuilles ; une nuit très humide suffit largement ici. Son développement ne dépend plus guère de la condition de température, qui est presque toujours réalisée durant l'été ; il dépend surtout de l'humidité de l'air, condition qui se réalise encore souvent au mois de juin.

Aux températures plus élevées, le mildiou se développe moins vite ; il faut plus d'une nuit ou d'une journée de 12 heures ; et, à ces températures élevées, l'humidité nécessaire persiste généralement moins longtemps et les invasions doivent devenir, elles aussi, moins fréquentes.

INFLUENCE DE L'HUMIDITÉ DE L'AIR. — Tant que le *P. viticola* reste plongé dans les tissus, il est peu nuisible à la feuille. Sa vie cachée est la moins inquiétante. Il devient surtout dangereux quand il se montre, c'est-à-dire quand ses conidiophores apparaissent à l'extérieur, car c'est alors qu'il tue rapidement les tissus au sein desquels il vit, et qu'il produit les germes des invasions futures. Or, la formation des conidiophores est sous la dépendance non seulement de la température, ainsi qu'il a déjà été établi, mais encore de l'humidité de l'air. Chacun sait que c'est par temps couvert ou brumeux ou par une forte rosée ou par le brouillard, que les invasions se déclarent. Il est, par suite, très important de préciser les conditions d'humidité qui leur sont nécessaires.

Pour résoudre cette question, nous avons fait usage des feuilles à mildiou latent obtenues comme nous l'avons déjà indiqué. Elles sont mises à l'étuve Roux, sous chambre humide à température constante généralement, le pétiole plongeant dans un tube étroit plein d'eau. Le degré d'humidité indiqué par un psychromètre varie avec chaque chambre ; il est réglé par des solutions de  $\text{Ca Cl}^2$  à concentration variée. Les écarts dans l'état hygrométrique pour des solutions identiques tiennent à la température et au volume des cloches.

I. 2 janvier 1912.

De jeunes rameaux cueillis en plein air à l'état de vie active et portant de très nombreuses petites taches latentes de mildiou

sont mis sous cloches dans les conditions d'humidité indiquées ci-dessous. Température 18-21 degrés.

Séries	Titre de la solution de chlorure de calcium	Etat hygrométrique correspondant	Résultats
1	100 gr. par litre	98 o/o	Les conidiophores sont bien développés après 24 heures.
2	200 gr. par litre		Rien.
3	1.000 gr. par litre	50-52 o/o	Rien et dessiccation des feuilles.
4	Témoin	99-100 o/o	Bon développement.

## II. 4 janvier.

Feuilles d'Aramon élevées en serre et portant des taches latentes. Température 24°8-25°

Séries	Titre de la solution de chlorure de calcium	Etat hygrométrique correspondant	Résultats
1	200 gr. par litre	98 o/o	Conidiophores abondants, après 10 h. les taches grandissent.
2	300 —	95,5 o/o	Touffes de conidiophores après 10 h., mais moins serrées qu'en 1; les taches s'accroissent pas.
3	400 —	86 o/o	Rien. La dessiccation de la feuille commence après 20 heures.
4	Témoin... ..	100 o/o	Nombreux conidiophores après 10 h.; les taches s'agrandissent comme à 1.

## III. — 5 janvier.

Feuille d'Aramon à taches latentes. Température 24°8-25°.

Séries	Titre de la solution de chlorure de calcium	Etat hygrométrique correspondant	Résultats
1	200 gr. par litre	96-97 o/o	Conidiophores nombreux.
2	300 —	95 o/o	Conidiophores moins nombreux et apparaissent plus tard qu'à 1.
3	400 —	85 o/o	Pas de conidiophores et dessiccation des feuilles.
4	Témoin . . . . .	99-100 o/o	Nombreux conidiophores. Touffes denses.

## IV. — 8 janvier.

Feuille d'Aramon à taches latentes, Température 22°5-23°.

Séries	Titre de la solution de chlorure de calcium	Etat hygrométrique correspondant	Résultats
1	100 gr. par litre	98 o/o	Conidiophores nombreux après 12 heures.
2	200 —	96 o/o	Rares conidiophores après 12 heures.
3	250 —	95 o/o	—
4	300 —	92 o/o	Rien et dessiccation des taches à mildiou.
5	Témoin.....		Nombreux conidiophores après 10 heures.

## V. — 11 janvier.

Feuille d'Aramon à taches latentes. Température 17°-18°.

Séries	Titre de la solution de chlorure de calcium	Etat hygrométrique correspondant	Résultats
1	300 gr. par litre	87 o/o	Quelques rares conidio- phores après 36 heures.
2	400 —		Pas de mildiou et dessicca- tion des feuilles.
3	500 —	74 o/o	—
4	Témoin.....	100 o/o	Conidiophores abondants après 10 h. 1/2.

## VI. — 26 janvier.

Feuille d'Aramon à taches latentes. Température 15°5-16°.

Séries	Titre de la solution de chlorure de calcium	Etat hygrométrique correspondant	Résultats
1	250 gr. par litre	96 o/o	Quelques très rares conidiophores après 34 heures.
2	275 —	95 o/o	Pas de conidiophores.
3	300 —	91 o/o	Pas de conidiophores.
4	Témoin.....		Après 17 heures, appari- tion des conidiophores.

VII. — 1<sup>er</sup> février.

Feuilles de Grenache élevé en serre, avec taches latentes et feuilles d'Aramon. Température 19°-20°.

Séries	Titre de la solution de chlorure de calcium		Etat hygrométrique correspondant	Résultats
1	300 gr.	par litre	89 o/o	Toutes les feuilles d'Aramon se fanent. Les feuilles de Grenache portent de belles touffes de conidiophores.
2	350	—	87 o/o	Mêmes résultats.
3	400	—	70 o/o	Dessiccation des feuilles d'Aramon. Celles de Grenache restent fraîches et émettent quelques touffes de conidiophores.
4	450	—	65 o/o	Les feuilles d'Aramon se fanent; les feuilles de Grenache restent fraîches, mais n'émettent pas de conidiophores.

*Observations.*— Aux températures les plus favorables et qui, on le sait, sont voisines de 23 degrés, le temps le plus court, approximativement 10 heures, nécessaire pour l'apparition et la formation complète des conidiophores n'est atteint que dans une atmosphère à peu près saturée d'humidité 97-100 degrés. Déjà un état hygrométrique de 92 degrés devient nettement moins favorable; et le champignon qui vit dans les feuilles de l'Aramon se développe plus lentement et devient moins puissant. Aux températures plus élevées et plus basses, le *Plasmodium viticola* est plus exigeant; il lui faut plus d'humidité dans l'air.

Des observations analogues peuvent être faites aisément dans les serres, où l'on est, dans une certaine mesure, maître de l'humidité atmosphérique. Pendant que se faisaient, sous cloche, les expériences relatées plus haut, l'état hygrométrique de notre serre variait entre 70 et 90 o/o. Dans ces conditions d'humidité,



le Mildiou forme plus ou moins vite les taches latentes que nous utilisons, mais les conidiophores n'apparaissent pas.

De tout cela, il faut conclure que, pour que les invasions se développent dans les meilleures conditions de température, au moins toute une nuit ou toute une journée de grande humidité est nécessaire. On voit que les rosées qui n'apparaissent que le matin sont sans importance : celles qui se produisent dès le soir, comme en 1910, sont évidemment plus dangereuses, et les brouillards qui s'ajoutent aux rosées ou les prolongent dans la matinée, le sont encore plus.

L'humidité extérieure dépend aussi de l'eau apportée par les traitements. 7 hectolitres de bouillies peuvent saturer à 15° 50.000 mètres cubes d'air ou une tranche d'air de 5 mètres d'épaisseur. Ils peuvent donc suffire largement dans la pratique pour augmenter l'état hygrométrique d'une valeur suffisante pour le rendre favorable à la naissance des taches blanches, et voilà comment un traitement cuprique, surtout s'il est bien fait, peut faire apparaître une invasion. Il semble bien qu'on l'ait déjà constaté dans la pratique, surtout quand les traitements par un grand nombre d'ouvriers opérant au même point. Le liquide pulvérisé par un ouvrier ne peut guère modifier l'état hygrométrique de l'air.

Et les pluies ? Les pluies sont, sauf les orages, à peu près toujours précédées et suivies d'un état hygrométrique élevé : elles créent donc ainsi un milieu favorable à l'invasion. Mais l'eau qu'elles apportent sur ou sous les feuilles joue-t-elle le même rôle ? L'expérience suivante répond à cette question.

Le 20 janvier, on met dans l'eau des taches à Mildiou latent de telle sorte qu'une moitié de la tache soit dans l'eau et l'autre moitié dans l'air humide. Après 48 heures, on examine les taches. Résultats ; pas de conidiophores sous l'eau, conidiophores nombreux dans l'air.

Le 23 janvier, on met en chambre humide, à la surface de l'eau contenue dans un cristalliseur, deux feuilles à Mildiou latent ; elles reposent sur l'eau, l'une par sa face supérieure, l'autre par la face inférieure. Une troisième feuille au pétiole

plongeant dans l'eau sert de témoin. Le Mildiou se trouve en abondance sur la première et sur le témoin ; par contre, pas trace de conidiophores à la face inférieure de la seconde. La face supérieure, qui est à l'air libre, en porte quelques touffes qui ont perforé l'épiderme.

Le lendemain, on intervertit les positions. La première est appliquée par sa face inférieure sur l'eau, ses conidiophores cessent aussitôt de s'accroître ; la seconde, au contraire, qui est en contact avec l'eau par sa face supérieure, se couvre de conidiophores.

Si, au lieu de recouvrir le dessous des feuilles d'une couche d'eau continue, on le recouvre, par vaporisation, de très fines gouttelettes assez rapprochées pour être confluentes, mais dont les intervalles restent secs, les conidiophores se développent vigoureusement. Dans les infections par gouttes d'eau isolées, les conidiophores n'apparaissent que sur le pourtour de la goutte.

Que conclure ? C'est que l'eau en excès est nuisible au Mildiou : elle arrête ses invasions comme la sécheresse — et très probablement en l'empêchant de respirer : les pluies assez prolongées pour laver le dessous des feuilles, si elles peuvent assurer la contamination, empêchent au moins momentanément, on le voit, la formation des germes qui doivent la réaliser.

**INFLUENCE DU SUJET SUR LA SENSIBILITÉ DU GREFFON AU MILDIOU.** — Cette question présente une grande importance. Néanmoins, elle n'a reçu jusqu'ici que des solutions contradictoires. Les observations suivantes, que chacun a pu faire, aideront à la comprendre.

Dans un champ d'expériences complanté de diverses variétés, sujets portant un même greffon, on a pu remarquer que, sur certains sujets, le greffon est très atteint par le mildiou, alors qu'il est indemne sur d'autres placés à côté. Entre ces deux cas extrêmes, il y a de nombreux cas intermédiaires.

Les sujets favorisant le mildiou sont en général (série I) : *Rupestris*, 1202 ; *Aramon-Rupestris* Ganzin n° 1 et 2 ; *Cordifolia-Rupestris*, 227-1 ; 216-3 ; 215-2 ; *Riparia-Rupestris*, 3306 ; 3309,

etc.; les sujets qui diminuent la sensibilité du mildiou sont d'ordinaire (série II) : Riparia, 420, et la plupart des Riparia-Berlandieri, Arizonica, Jacquez, 44 B, etc.

Des remarques analogues peuvent être faites dans les vignobles déjà anciens établis sur divers porte-greffes. Les greffes sur Rupestris, 1202, Aramon Ganzin n° 1 et 2, etc., sont plus ou moins atteintes; celles qui ont pour sujet : Riparia, Solonis, Jacquez, York-Madeira, Riparia-Berlandieri, etc, sont fréquemment indemnes.

Et il apparaît ainsi qu'il y a une relation étroite et constante entre la sensibilité au mildiou du greffon et la nature du sujet qui le porte.

Mais on trouve aussi des faits contraires aux précédents : parcelles de vignes côte à côte, indemnes sur Rupestris, etc., très atteintes sur Riparia, etc.; greffés sur place ou greffés-soudés de un, deux, trois, quatre ans sur sujets de la série I intercalés en « repiquage » des manquants et indemnes, alors que les vieilles greffes sur sujets de la série II sont, au contraire, très endommagées. Et de tels faits ne sont pas rares.

D'où une nouvelle relation entre la sensibilité au mildiou et la nature du sujet, mais qui est inverse de la première.

Nous sommes donc maintenant en présence de faits contradictoires. Mais ce sont des faits, et nous devons essayer de les interpréter.

Cherchons, par exemple, ce qu'ont de commun — en dehors de la nature du sujet — d'une part les vignes greffées sur les porte-greffes de la série I et, d'autre part, les vignes établies sur sujets de la série II.

Les greffes sur Rupestris, 1202, Aramon Ganzin, etc., sont presque toujours très vigoureuses; les greffes sur Riparia, 420 A, et autres Riparia-Berlandieri sont, au contraire, généralement faibles. Les ceps âgés de repiquage sur les sujets de la série I, dans les vignes établies sur Riparia, Jacquez, Solonis, sont habituellement très vigoureux : leur végétation est quelquefois le double et le triple de celle de ces dernières et ils sont aussi,

tout le monde l'a remarqué, fortement envahis par le mildiou ; il est même quelquefois difficile de les défendre.

Par contre, les greffes sur place de un, deux, trois, quatre ans, de même que les greffés-soudés de même âge plantés en repiquage à travers une vieille vigne, gênés par leurs voisins, se développent peu d'abord et restent faibles ; leur végétation s'accroît lentement et s'arrête de bonne heure ; on conçoit, dès lors, qu'elles soient peu atteintes par le mildiou.

Quant aux parcelles sur *Rupestris*, indemnes, elles sont généralement affaiblies par le mildiou de l'année précédente, alors que les parcelles sur *Riparia*, n'ayant pas souffert au préalable de cette maladie, parce que peu vigoureuses, ont conservé toute leur puissance et sont ainsi devenues moins résistantes à la maladie. Le mildiou peut donc modifier la réceptivité des vignes qu'il a envahies.

Et nous voici conduits à établir une relation très étroite entre la réceptivité du mildiou et, non pas la nature du sujet, mais la vigueur de la souche greffée.

Comment la vigueur modifie-t-elle la réceptivité au mildiou ? En mettant à la disposition du feuillage plus ou moins d'eau. Les vignes vigoureuses, on le sait, sont aussi les plus tendres, les plus aqueuses ; les vignes faibles sont les plus sèches. On peut donc juger de l'état aqueux d'une plante d'après l'état de lignification de ses rameaux ; on peut aussi en juger en mesurant la tension osmotique des cellules, soit à l'aide de solutions hypertoniques, soit, comme M. Laurent l'a proposé, par la cryoscopie. La première méthode est la plus rapide et la plus sûre. Elle montre que la tension osmotique du feuillage d'un rameau en voie de croissance varie de 0 molécules à 43 au sommet, à 0 molécule 70 à la base, d'une solution de nitrate de potasse.

Or, le développement du champignon du mildiou, comme celui de presque toutes les plantes, est étroitement lié à la quantité d'eau du milieu — ici les tissus de la vigne — qui les alimente. Plus les tissus sont riches en eau, plus ils sont favorables au développement du mildiou. Et les tissus des vignes

vigoureuses sont justement, nous l'avons déjà dit, toujours riches en eau.

S'il en est ainsi, tout ce qui tend à modifier la vigueur de la vigne tend à modifier aussi sa réceptivité aux maladies cryptogamiques, quel que soit le sujet : les fumures, surtout les fumures azotées, qui activent la végétation : la potasse et l'acide phosphorique, ont peu d'influence ; les arrosages d'été qui activent et prolongent la végétation ; la taille courte et réduite qui, en limitant la production accroit aussi la vigueur ; l'espacement, dont le rôle est le même que celui des fumures azotées ; tous les soins culturaux ; les vignes les mieux tenues sont les plus exposées aux maladies ; enfin, la puissance du sujet, qui dépend, du reste, de la culture, des soins du vigneron. On peut obtenir qu'un sujet naturellement puissant porte des greffes faibles, mais les efforts du vigneron tendent habituellement vers un but opposé, et c'est pourquoi il y a lieu de tenir compte de cette influence de la puissance du sujet, quand il s'agit d'établir des vignobles dans des localités exposées aux maladies cryptogamiques.

**INFLUENCE DU SOL.** — Le sol peut certainement modifier la sensibilité de la vigne au mildiou. D'abord, en modifiant la puissance de la végétation. Plus la plante pousse vigoureusement, plus ses tissus sont aqueux et plus ils sont favorables au parasite et inversement. Il y a donc lieu de tenir compte de la fertilité de la terre.

Quant à l'influence respective de chaque élément, nous ne la connaissons pas ; on ignore encore si la maladie est moins fréquente dans les sols calcaires que dans les siliceux.

L'humidité joue le même rôle que les éléments fertilisants. Mais en plus, quand elle est abondante dans le sol, elle peut assurer la germination des spores d'hiver, qui n'aurait pas pu se produire si elle avait fait défaut.

**INFLUENCE DE L'ÉTAT DE LA SURFACE DU SOL SUR LES CONDITIONS DE DÉVELOPPEMENT DU MILDIOU.** — **INFLUENCE DES LABOURS.** — J'ai montré, dans des recherches

antérieures (1), combien la température de l'air ambiant peut être modifiée par l'état de la surface du sol. En est-il de même de l'humidité dont dépend si étroitement l'apparition des invasions du mildiou. Il m'a paru intéressant de le rechercher.

*Expérience I.* — Deux parcelles de la vigne Claparède, situées côte-à-côte, complantées du même cépage, ayant reçu jusqu'alors les mêmes soins, ont été maintenues exemptes de mauvaises herbes, l'une par un bon labour donné à la main lorsque la terre était encore humide, l'autre par des sarclages.

On a disposé dans chacune d'elles, au niveau du sol et à 0<sup>m</sup>,50 de hauteur, deux hygromètres réglés avec soin. Le tableau suivant donne les états hygrométriques de l'air de chaque parcelle.

Dates	Partie non labourée	Partie labourée			Partie non labourée (témoin)
	Instal. 3 juin				
Heures	Niveau du sol	Niveau du sol	à 0 m. 50	Niveau du sol	à 0 m. 50
	Etat hyg.	Etat hyg.	Etat hyg.	Etat hyg.	Etat hyg.
<b>11 juin</b>					
4 h. 30 matin	93	96	92	94	95
5 h.	85	89	84	87	85
6 h.	90	93	89	90	89
7 h.	90	95	90	88	90
8 h.	98	99	95	98	96
<b>12 juin</b>					
4 h. 30 matin	100	100	100	100	99
5 h.	98	99	99	100	99
6 h.	98	98	98	100	96
5 h. soir	98	100	98	100	98
6 h.	98	100	98	99	98
7 h.	99	100	98	99	98
<b>13 juin</b>					
4 h. 30 matin	61	69	58	58	58
5 h.	69	69	70	70	71
6 h.	70	74	60	72	66
7 h.	70	75	62	72	62
<b>14 juin</b>					
5 h. matin	76	78	60	74	62
6 h.		74	54	71	52
7 h.		68	42	66	46
8 h.		68	51	69	42

---

(1) Influence des opérations culturales sur la vigne. *Annales de l'Ecole nationale d'agriculture de Montpellier.*



*Expérience II. — A partir du 19 juin*

	Sol labouré		Sol non labouré (témoin)	
	à 0 m. 50	Niveau du sol	à 0 m. 50	Niveau du sol
	Etat hyg.	Etat hyg.	Etat hyg.	Etat hyg.
<b>19 juin</b>				
5 h. 1/2 soir	88	89	87	83
6 h.	91	93	90	86
7 h.	95	96	97	92
8 h.	98	100	97	95
<b>20 juin</b>				
4 h. 1/2 matin	99	100	100	99
5 h.	100	100	100	99
6 h.	66	80	66	89
7 h.	58	62	52	80
8 h.	51	56	46	68
5 h. soir	48	50	48	55
5 h. 1/2	51	53	51.5	57
6 h.	57	61	59	62
<b>21 juin</b>				
4 h. matin	93	87	93	94
4 h. 1/2	73	84	77	89
5 h.	58	73	55	88
5 h. 1/2	58	72	57	79
6 h.	51	47	41	64
5 h. 1/2 soir	53	50	48	55

Ainsi la culture du sol augmente d'une manière très marquée l'humidité de l'air, au moins pendant quelques jours, et l'on conçoit que cette augmentation puisse être suffisante pour assurer le développement d'une invasion. N'a-t-on pas remarqué que les parcelles de vigne récemment labourées, étaient aussi souvent les plus fortement envahies par le Mildiou ?

Puis les résultats changent de sens lorsque la couverture de terre meuble due au labour s'est desséchée ; mais il n'y a là rien d'imprévu.

INFLUENCE DES CAILLOUX. — *Expérience III.* — Une de nos parcelles est couverte de cailloux siliceux entre lesquels il n'existe point de terre fine ; ils forment donc une couverture un peu spéciale qui doit se dessécher rapidement. L'état hygrométrique de l'air y subit les variations suivantes :

	Témoïn		Cailloux	
	à 0 m. 50	Niveau du sol	à 0 m. 50	Niveau du sol
	Etat hyg.	Etat hyg.	Etat hyg.	Etat hyg.
<b>29 Juin</b>				
6 h. soir	79	90	77	87
7 h.	72	83	70	80
8 h.	81	82	70	79
<b>30 juin</b>				
5 h. matin	86	95	84	95
6 h.	62	87	66	91
7 h.	42	57	44	69
<b>1<sup>er</sup> Juillet</b>				
6 h. matin	95	100	94	100
5 h. soir	46	67	46	56
5 h. 1/2	50	64	48	59
6 h.	54	59	49	58
6 h. 1/2	54	66	50	62
7 h.	56	74	54	64
<b>2 juillet</b>				
4 h. 1/2 matin	92	96	91	90
5 h.	84	96	84	97
5 h. 1/2	74	89	72	91
6 h.	60	81	64	94
6 h. 1/2	56	78	57	74
7 h.	43	50	47	59
7 h. 1/2	37	67	41	69
8 h.	43	64	58	53
5 h. soir	51	64	46	53
5 h. 1/2	53	66	48	55
6 h.	54	71	50	57
6 h. 1/2	56	74	52	63
7 h.	66	81	64	71
<b>3 juillet</b>				
4 h. 1/2 matin	80	90	79	89
5 h.	88	92	88	89
5 h. 1/2	90	96	89	98
6 h.	96	95	93	95
6 h. 1/2	91	93	91	98
7 h.	95	100	98	99
7 h. 1/2	95	100	98	99
8 h.	99	100	99	99
6 h. soir	84	90	84	86

	Témoin		Cailloux	
	à 0 m. 50	Niveau du sol	à 0 m. 50	Niveau du sol
	Etat hyg.	Etat hyg.	Etat hyg.	Etat hyg.
<b>4 juillet</b>				
5 h. matin	100	100	100	98
5 h. 1/2	95	98	87	98
6 h.	79	95	81	92
7 h.	51	65	55	75
8 h.	42	52	36	66
5 h. soir	50	62	47	50
5 h. 1/2	46	69	53	58
6 h.	56	67	53	57
6 h. 1/2	63	73	60	63
7 h.	66	79	65	68
<b>5 Juillet</b>				
4 h. 1/2 matin	97	96	96	90
5 h.	93	100	93	94
5 h. 1/2	80	91	81	91
6 h.	66	85	62	90
6 h. 1/2	53	52	57	79
7 h.	48	45	51	70
5 h. 1/2 soir	57	64	57	56
6 h.	66	72	64	64
7 h.	85	88	83	84
<b>6 Juillet</b>				
5 h. matin	90	92	91	90
5 h. 1/2	84	90	84	88
6 h.	88	85	79	79
6 h. 1/2	55	71	63	76
7 h.	61	65	60	65
8 h.	52	61	51	62

Généralement, l'air est plus sec au-dessus des cailloux qu'au-dessus de la terre non ameublie, mais exempte de mauvaises herbes. Il est difficile d'expliquer les quelques exceptions indiqués par les chiffres du dernier tableau.

INFLUENCE DE L'HERBE. — *Expérience IV.* — Les vignes très enherbées au printemps, sont généralement moins envahies par le mildiou que les vignes à sol nu ; c'est un fait bien établi et que MM. Faës et Chuard ont récemment mis en lumière. Les vigneronns ont donc intérêt à être négligents. Quel est le rôle de l'herbe ? Modifie-t-elle l'état hygrométrique de l'air ? Pour m'en assurer, j'ai placé des psychromètres dans deux parcelles contiguës, l'une

couverte de gazon haut de 10 à 15 centimètres, l'autre constamment raclée. Voici les résultats obtenus :

	Sol nu		Sol herbeux	
	à 0 m. 50	Niveau du sol	à 0 m. 50	Niveau du sol
	Etat hyg.	Etat hyg.	Etat hyg.	Etat hyg.
<b>14 juin</b>				
7 h. soir	67	62	67	67
<b>15 juin</b>				
4 h. 30 matin	73	80	74	84
5 h.	73	78	70	84
6 h.	89	74	76	81
7 h.	78	78	67	81
8 h.	67	61	60	66
<b>16 juin</b>				
5 h. matin	90	96	92	96
6 h.	82	78	82	90
8 h.	49	46	47	62
6 h. soir	42	40	44	59
<b>17 juin</b>				
4 h. 30 matin	57	59	55	65
5 h.	59	58	57	65
6 h.	72	67	65	62
8 h.	51	48	52	55
<b>18 juin</b>				
4 h. 30 matin	82	82	82	93
5 h.	79	79	84	90
6 h.	76	78	93	83
7 h.	62	71	58	78
5 h. 30 soir	41	34	30	70
6 h.	50	51	46	71
7 h.	66	67	64	85
8 h.	70	74	71	88
<b>19 juin</b>				
4 h. 15 matin	98	95	100	100
4 h. 30	98	95	98	98
5 h.	98	95	98	98
6 h.	85	90	93	98
7 h.	89	94	73	80
8 h.	68	64	72	88

Au niveau du sol, l'humidité est généralement plus grande dans l'herbe que sur sol nu : à 0<sup>m</sup>.50, résultats inverses le plus souvent. Il semble donc que l'herbe dessèche l'air à une certaine distance du sol. Cette action est-elle suffisante pour arrêter le développement d'une invasion? Peut-être. Mais il se peut aussi que les herbes jouent le rôle d'écran et empêchent la projection

des germes du sol sur le feuillage de la vigne. La question n'est donc pas résolue; elle devra être reprise.

INFLUENCE DE L'ÉLOIGNEMENT DU SOL. — *Expérience V.* — Des psychromètres ont été installés dans une parcelle de la vigne (Claparède, les uns au-dessus des autres, aux distances du sol suivantes :

1° niveau du sol

2° 0<sup>m</sup>,50

3° 4<sup>m</sup>

4° 2<sup>m</sup>

Voici les états hygrométriques observés :

	Humidité de l'air			
	Niveau du sol	à 0 m. 50	à 5 <sup>m</sup>	à 2 <sup>m</sup>
	Etat hyg.	Etat hyg.	Etat hyg.	Etat hyg.
<b>4 juin</b>				
4 h. 30 matin	100	100	100	»
<b>5 juin</b>				
4 h. 45 matin	99	92	81	79
<b>6 juin</b>				
5 h. matin	97	92	91	100
<b>7 juin</b>				
4 h. 45 matin	94	89	88	94
5 h. 50 matin	96	87	86	82
7 h. matin	80	70	70	71
<b>8 juin</b>				
5 h. matin	89	84	78	68
6 h.	85	68	65	64
7 h.	83	54	45	43
8 h.	59	43	43	44
4 h. 30 soir	70	62	60	60
6 h.	74	65	60	62
7 h.	74	65	60	62
8 h.	68	59	55	55
<b>9 juin</b>				
5 h. matin	84	90	84	84
6 h.	82	58	48	47
7 h.	70	41	34	44
8 h.	50	44	38	40
<b>10 juin</b>				
4 h. 30	92	84	67	68
5 h.	90	53	42	46
6 h.	72	43	42	41
7 h.	67	51	45	52
8 h.	46	39	38	42

L'humidité est plus élevée près du sol qu'à 0<sup>m</sup>,50 et à 1<sup>m</sup> de hauteur et l'écart est souvent considérable. Il explique l'immunité relative des vignes palissées sur fil de fer et sur échalas, et la fréquence et la violence des invasions sur les vignes à rameaux rampants que tout le monde a constatées. A 2<sup>m</sup>, l'état hygrométrique dans notre expérience, est sensiblement le même qu'à 1 mètre.

INFLUENCE DES SULFATAGES. — *Expérience VI.* — Les traitements cupriques liquides apportent à la vigne 5 à 700 litres d'eau, c'est-à-dire de quoi saturer à 15°, par temps calme, une tranche d'air de 4 à 5 mètres d'épaisseur. Il semble donc que les sulfatages puissent modifier, profondément au moins pendant un temps très court, l'état hygrométrique de l'air. Les résultats obtenus dans une expérience ne confirment pas cette opinion. Il est vrai que ces essais ont été faits avec un seul ouvrier, qui ne projette dans l'unité de temps que peu de liquide. Il en est peut-être autrement quand une dizaine d'ouvriers opèrent en même temps et côte à côte, comme il est d'usage dans les grands domaines.

En résumé, *tout ce qui tend à augmenter la vigueur de la souche, l'humidité du sol, l'humidité de l'air favorise le développement du Mildiou; et l'on voit que les opérations culturales ne sont pas sans importance à ce point de vue.*

## RÉCEPTIVITÉ DES ESPÈCES ET VARIÉTÉS DE VIGNES.

— Aucune espèce de vigne n'est à l'abri du mildiou, V. Rotundifolia et même certains Ampélopsis sont quelquefois atteints. Mais la réceptivité des diverses espèces n'en est pas moins fort différente. Les unes ne portent que des taches très petites et très rares; il faut un milieu exceptionnellement favorable pour qu'elles soient envahies: V. *Riparia*, V. *Cordifolia*, V. *Rupestris*. D'autres sont encore relativement résistantes, et si elles portent sur le feuillage des altérations assez étendues, elles sont généralement peu endommagées par la maladie: V. *Lincecumii*, fig. 39; V. *Berlandieri*, fig. 40; V. *Labrusca*, fig. 41; V. *Rubra*, fig. 42; V. *Coriacea*, fig. 43; et V. *Monticola*, fig. 44. Mais d'autres, au



contraire, sont si sensibles au Mildiou qu'elles peuvent perdre la totalité de leurs feuilles et de leurs fruits ; *V. Vinifera*, *V. Californica*, *V. Arizonica*.

A quoi est due la résistance des unes et la sensibilité des autres ? Probablement à la composition chimique du contenu cellulaire. Mais sur tous ces points plane un doute qui ne pourra être levé que par des expériences bien conduites.

Pour M. Comes et ses élèves, la sensibilité des plantes aux maladies serait liée au taux d'acidité de leur tissus. Or « l'acidité des végétaux est diminuée par la bonne culture, la fumure, par tout ce qui tend

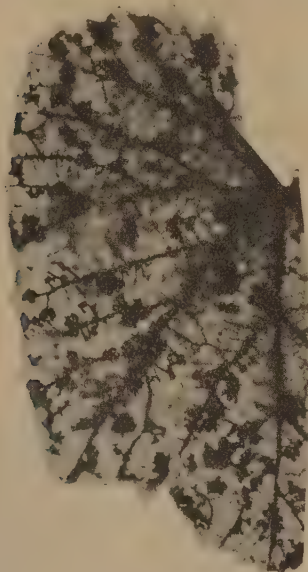


Fig. 39. — Mildiou sur *V. Lincedumii*.

à « améliorer » la plante ». Et voilà peut-être pour quelles raisons notre *V. Vinifera* est si atteint par le mildiou.

Ces vues ne peuvent pas être acceptées sans examen. Il y a, en effet, des plantes sauvages très sensibles à la maladie ; telles sont : *V. Californica*, *V. Arizonica*, qui, certainement, n'ont jamais dû être cultivées. Les variétés spontanées ou sub-spontanées de *V. Vinifera* qui croissent dans nos haies et dans nos



Fig. 40. — Mildiou sur *V. Berlandieri*.

bois et qui sont encore ou qui sont revenues à l'état sauvage, ne présentent aucune résistance supérieure à celle des variétés cultivées. *V. Rotundifolia*, qui est cultivé depuis longtemps en Amérique, est toujours à peu près indemne. Il en est de même de nos *Riparia* et *Rupestris* purs,



Fig. 41. — Mildiou sur *V. Labrusca*.

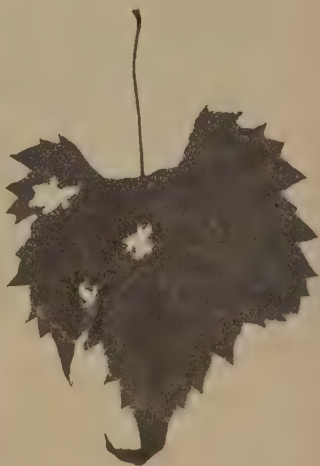


Fig. 42. — Mildiou sur *V. Rubra*.

dont la sensibilité au phylloxera ne paraît pas avoir subi de variations marquées.

Au reste, dans le tableau suivant, dû à M. Averna Sacca, il y a des exceptions inquiétantes. Par exemple, 1202, sensible au mildiou, qui est moins acide que *Rupestris* dont la haute résistance est bien connue.

*Acidité totale du suc cellulaire des bourgeons de vigne, exprimée*

*en cc. d'alcali  $\frac{N}{40}$  de KOH.*

**Pour 100 de substance sèche**

**VIGNES AMÉRICAINES**

Rupestis sélectionné de Velletri n° 10.....	1376
— — — — — 6.....	1327
3309.....	1132
1202.....	991
Riparia tomenteux n° 13.....	865
— glabre n° 25.....	829
101-14.....	819
157-11.....	818
Rupestis du Lot.....	787
34 E. M.....	717
Rupestis.....	479
Aramon Rupestis.....	411

**VIGNES EUROPÉENNES**

Lambrusca de Cesterna.....	362
Vigne Romagnola.....	107
Moscato.....	102
Nero Valente.....	101.5
Corniola.....	95
Nerello.....	91.05

Quoi qu'il en soit, il importe de connaître avec précision le



Fig. 43. — Mildiou sur V. Coriacea.

degré de réceptivité de chaque espèce et conséquemment de ses variétés, car il se retrouve atténué, plus ou moins il est vrai,

dans leurs hybrides. La réceptivité de l'espèce nous indique donc celle de l'hybride qui en provient.

On conçoit que dans une même espèce, les variétés puissent présenter des différences de réceptivité. Il en est ainsi pour les variétés du *V. Vinifera*. Il n'est pas possible pour le moment d'établir une échelle de leur résistance. En général, les vignes à feuilles charnues, épaisses, molles, telles que Grenache, Clairette, Mourvèdre, Terret, Carignan, Corbeau, Morrastel-Bouschet, Malbec, etc., sont plus atteintes que les vignes à feuilles minces ou sèches, Aramon, Mondeuse, Durif.



Fig. 44. — Mildiou sur *Monticola*.

Mais, au fond, ces différences entre les variétés de *Vinifera* ne sont pas très importantes et, en outre, pas toujours constantes. C'est, qu'en effet, il est très difficile de les apprécier ; une même variété pourra être saine ici et malade un peu plus loin ; il suffit pour cela qu'en un point elle présente des différences dans l'allure de sa végétation. Les variétés, dont la croissance est lente ou arrêtée, résistent beaucoup plus que celles dont la croissance est active. Et c'est aussi pourquoi les variétés dont la végétation se continue longtemps sont plus facilement envahies que celles qui cessent de croître de bonne heure.

---

## TRAITEMENT

---

Des connaissances que nous venons d'acquérir sur l'allure et sur la cause du mildiou, nous allons maintenant déduire les moyens de le combattre.

**DESTRUCTION DES CONIDIOPHORES.** — C'est sur le parasite qu'il faut agir. Mais on ne peut attendre aucun résultat de la destruction des conidiophores. D'abord, ils sont presque toujours à la face inférieure des feuilles, et là, il est difficile de les atteindre avec des liquides ou des poudres toxiques. Et quand bien même leur destruction serait possible de cette manière, elle serait impraticable. C'est que les conidiophores, comme on l'a vu, ne sont que la partie aérienne du champignon: il a une partie souterraine qui vit dans la feuille, et qui est vivace, — et qui émet sans cesse ou qui peut émettre — de nouveaux conidiophores, que ceux déjà sortis soient détruits ou non. Pour arriver à un résultat, ils faudrait traiter les feuilles chaque jour et encore serait-ce très insuffisant tant est rapide l'évolution des conidiophores et des conidies qu'ils portent.

**DESTRUCTION DES SPORES D'HIVER.** — La maladie procède des spores dormantes qui ont passé l'hiver dans les feuilles. Il suffirait, semble-t-il, de détruire les feuilles, soit par le feu, soit en les faisant consommer par les moutons, pour supprimer les germes de la maladie. Outre que ce moyen de lutte pour être efficace doit être appliqué collectivement par tous les vignerons sans exception — ce qui ne se peut guère en France — il ne donnerait probablement aucun résultat appréciable. C'est qu'en effet, la destruction totale des feuilles est impossible. Après les vendanges, beaucoup d'entre elles, et justement les plus malades,

sont déjà tombées à terre ou emportées par le vent et, par conséquent, échappent forcément à la destruction. Si l'on songe, d'autre part, que la première invasion de chaque année n'est constituée que par quelques taches, on voit qu'il suffit d'un germe échappé à la destruction pour contaminer dès la 3<sup>e</sup> génération ou quatrième invasion, une grande étendue de vignes. Néanmoins, les traitements tardifs qui ont pour objet d'éviter la formation des spores d'hiver, l'espoudassage hâtif et l'enlèvement des rameaux coupés peuvent très bien réduire le nombre des spores dormantes et ainsi diminuer l'intensité de la première invasion.

**DESTRUCTION DES CONIDIES ET ZOOSPORES.** — Mais les zoospores sont beaucoup plus vulnérables que les fructifications qui les portent ou que les organes qui leur donnent naissance. Pour envahir les nouveaux tissus, elles doivent se porter à leur surface et quitter par conséquent les régions où elles étaient abritées contre les agents physiques ou toxiques. Et c'est là, à la surface des organes qu'elles vont envahir, qu'elles peuvent être facilement détruites ou rendues inoffensives.

**PROCÉDÉ BELUSSI.** — D'abord, on peut empêcher leur germination, ou leur pénétration dans les tissus. On y parvient relativement facilement en recouvrant les organes herbacés d'une sorte de cuirasse. La cuirasse est faite avec un lait de chaux, composé de :

Chaux.....	3 kilos
Eau.....	100 litres

dont on recouvre toutes les parties herbacées de la vigne. C'est le procédé italien. Il fut mis en pratique, en 1883, par les frères Belussi, de Tezza (Vénétie). Le traitement doit être appliqué fréquemment sur les feuilles, au moins tous les 45 jours, ou plus exactement chaque fois que la cuirasse calcaire a été détériorée par le vent ou par la pluie. Sous cette carapace calcaire bien entretenue, la feuille de vigne, comme l'a établi M. Cuboni, fonctionne normalement : elle vaporise et assimile comme une feuille libre. La récolte arrive ainsi à



bonne fin. Mais ce traitement exige beaucoup de main-d'œuvre et beaucoup de surveillance. Dans les périodes pluvieuses, il est inapplicable, car la croûte calcaire ne se forme pas et, en somme, bien que la chaux agisse également sur les germes à la manière d'un toxique — mais d'un toxique très faible : 1/10.000 —, les résultats sont incertains dans la pratique, et, par suite, insuffisants. Le procédé a été abandonné.

**LES ABRIS.** — Pour que les conidies et les zoospores puissent germer, il leur faut de l'eau, eau de pluie ou eau de rosée. En empêchant le dépôt de la rosée ou de l'eau de pluie, on empêche du même coup toute germination. De là l'utilité des abris, même des abris les plus légers. De là aussi le rôle protecteur des arbres. Le mildiou ne cause, en effet, que des dégâts insignifiants sur les vignes placées sous des arbres. Mais les abris ne sont applicables qu'aux vignes de luxe, ou qui donnent des fruits de grande valeur ; ils ne conviennent pas aux vignes de grande culture.

Ces moyens de lutte sont donc insuffisants : l'un parce que son efficacité est incertaine, l'autre parce qu'il est inapplicable. Nous allons trouver mieux.

**LES TOXIQUES.** — Au lieu de supprimer l'eau qui leur est nécessaire, ou de barrer la route à leurs filaments mycéliens, nous pouvons agir d'une autre manière sur les germes. Pour qu'ils ne se développent pas, il suffit de rendre toxique l'eau de germination. On y parvient facilement en déposant à la surface des organes herbacés qu'il s'agit de protéger, une substance toxique qui, en se dissolvant dans l'eau de germination, la rendra impropre à tout développement.

Les substances toxiques pour les germes du mildiou sont nombreuses, mais la condition de toxicité est insuffisante. Il faut d'abord qu'elles ne soient pas caustiques pour la vigne, par conséquent non corrosives. Cela en exclut un grand nombre : les acides, les alcalis, les oxydants, etc, ou les réducteurs énergiques. Les oxydes ou les sels neutres conviennent le mieux. Il faut ensuite qu'elles soient solubles dans l'eau, on en sait la

raison. Mais il faut aussi qu'elles soient peu solubles pour qu'elles ne soit pas entraînées par les eaux et qu'elles persistent non pas indéfiniment — nous ne sommes pas si exigeants — mais longtemps sur la surface à protéger, afin de constituer une réserve toujours prête à agir; et il faut aussi, pour les mêmes raisons, qu'elles soient adhérentes.

LE CUIVRE. — Toutes ces conditions, une substance les a réalisées au plus haut degré, et ce qu'il y a de plus curieux, c'est que sa découverte est due au hasard.

Il est d'usage, dans beaucoup de pays viticoles, de recouvrir d'un mélange de lait de chaux et de sulfate de cuivre les souches qui sont en bordure des chemins, afin d'en éloigner les passants. Cette coutume est surtout pratiquée en Gironde, où les vignes paraissent presque empiéter sur les routes. Et c'est là que l'action préservatrice de ce mélange contre le mildiou apparut, d'une manière toute fortuite, avec la plus grande évidence. Elle dut frapper beaucoup de personnes, mais l'idée de la mettre à profit pour la défense régulière des vignes, appartient surtout à M. Millardet et à son collaborateur M. David.

Le 13 mars 1883, Millardet écrit : « Quelques observations récentes me font espérer qu'on aurait peut-être des résultats plus satisfaisants par la pulvérisation de certaines solutions minérales : sulfate de fer ou de cuivre par exemple ». Les observations auxquelles M. Millardet fait allusion sont celles qu'il avait déjà faites à la fin octobre 1882, sur les bons effets des aspersions avec le mélange médocain (chaux et sulfate de cuivre).

Et le 1<sup>er</sup> avril 1883, il publie la formule de la bouillie cuprique qui paraît devoir le mieux convenir pour le traitement.

D'autre part, le 20 septembre 1884, MM. Ricaud et Paulin font connaître les bons effets que les échelas de bois blanc, sulfatés avec une solution de sulfate de cuivre, avaient donnés cette même année en Bourgogne. Le 29, du même mois, M. Ad. Perrey communique à l'Académie des Sciences ses observations sur le même point. Il termine ainsi sa note : « Sans vouloir exagérer les conséquences d'une observation que de nombreux témoignages viendront sans doute bientôt confirmer, nous nous

bornons à faire connaître l'agent prophylactique, comptant sur l'effort commun des intéressés pour hâter le moment où l'application pourra en être généralisée par un procédé économique. »

Quelques semaines plus tard, M. le baron Chatry de la Fosse appelait l'attention de la Société d'agriculture de la Gironde sur l'influence qu'exerce sur le mildiou un mélange de chaux et de sulfate de cuivre.

Le 14 octobre, M. P. Estève signale l'efficacité d'une poudre de son invention appelée sulfatine et composée de soufre et de sulfate de cuivre.

A la fin de 1884, l'attention des viticulteurs est donc attirée sur les propriétés du cuivre. Les observations favorables deviennent de plus en plus nombreuses, et, en 1885, cette substance est employée pour le traitement de la vigne sur de grandes surfaces, soit à l'état de bouillie calcaire, soit en solution sur échalas et liens de paille. Le succès fut général.

L'efficacité des sels de cuivre n'a plus à être démontrée. Chacun sait que les vignes non traitées perdent souvent toutes leurs feuilles et leur récolte, tandis que celles qui sont bien traitées conservent leur feuillage et amènent leurs fruits à bonne maturité.

Mais voici des chiffres empruntés à MM. Millardet et Gayon qui l'établiront néanmoins d'une manière précise :

	Ceps traités	Ceps non traités	Différence
<i>Feuilles.</i> Nombre.	424	42	+ 382
Poids total...	290 gr.	13 gr.	+ 275 gr.
— moyen.	0 gr. 68	0 gr. 33	0 gr. 32
<i>Raisins.</i> Nombre.	18	14	4
Poids total...	1 k. 570	0 k. 827	0 k. 743
— moyen.	0 k. 0877	0 k. 059	0 k. 028
<i>Sarments.</i> Nombre	18	13	5
Poids total....	0 k. 632	0 k. 415	0 k. 217
Longueur totale.	14 m.	7 m. 64	6 m. 36

## COMPOSITION DES RAISINS

Cépage Malbec			
	Ceps traités	Ceps non traités	Différence
Rendement en moût.	66.9 o/o	63.3 o/o	1.6 o/o
Densité du moût. . . .	1080	1043	37
Sucre par litre. . . . .	177 gr.	91 gr. 8	83 gr. 2
Acidité par litre en			
$\text{SO}^4\text{H}^2$ . . . . .	5 gr. 1	7 gr. 7	2 gr. 6

MODE D'ACTION DU CUIVRE. — Comment agit le cuivre sur le mildiou? C'est encore M. Millardet, qui avec l'aide de M. Gayon va nous l'apprendre. « Lorsqu'on met, dit-il, les conidies du *Peronospora viticola* en contact avec de l'eau pure à une température supérieure à 9° C, après une heure ou une heure et demie, elles émettent des zoospores. Celles-ci tourbillonnent d'abord rapidement dans l'eau pendant trois à cinq heures, puis s'arrêtent, se fixent et émettent des filaments-germes. Ces derniers percent l'épiderme de la feuille et pénètrent dans ses tissus, de telle sorte que six à huit heures après le commencement de l'expérience, l'infection de la feuille par le parasite est consommée — dans l'eau pure —. Mais si l'on emploie des solutions étendues de chaux, de sulfate de cuivre ou de fer, on constate que les conidies et les zoospores qu'elles engendrent sont à l'égard de ces solutions d'une sensibilité vraiment prodigieuse. Si la solution est un peu trop concentrée pour le développement des conidies, celles-ci n'émettent pas de zoospores et meurent sans éprouver de changements notables. Si la liqueur est un peu moins concentrée, quelques zoospores se forment, mais, au contact du liquide, au lieu de se mouvoir rapidement, elles se traînent lentement, s'arrêtent bientôt sans germer et ne tardent pas à périr. L'expérience m'a appris que la concentration des solutions qui sont incompatibles avec le développement complet des germes reproducteurs, est :

Pour la chaux, de  $\frac{1}{10.000}$  ; pour le sulfate de fer en solution

de  $\frac{1}{100.000}$  de fer ; pour le sulfate de cuivre de  $\frac{2 \text{ à } 3}{10.000.000}$  de cuivre.

Le cuivre, dans le mélange et sur les feuilles, se trouve à l'état d'hydrate d'oxyde, qui est généralement regardé comme insoluble. C'est sous la forme de granulations amorphes qu'on l'y découvre au microscope lesquelles sont d'abord englobées par la chaux et le sulfate de chaux et, plus tard, protégées par une croûte solide et peu soluble de carbonate calcaire.

Or, il résulte des recherches de M. Gayon que cet oxyde est dissout lentement, mais intégralement par l'eau tenant en solution du carbonate d'ammoniaque, à la température de 13° C. ; que l'eau chargée d'acide carbonique peut en dissoudre 40 milligrammes par litre, à la température et à la pression extérieure. Enfin, que l'eau pure elle-même dissout des traces de ce même oxyde à la température de 13° C.

Les gouttelettes du mélange cupro-calcaire disséminées sur les feuilles, fonctionnent donc comme de véritables réservoirs d'oxyde de cuivre, lesquels, pendant des semaines et des mois, conservent ce dernier, sous la protection de leur croûte calcaire, et fournissent à l'eau de rosée ou de pluie, plus ou moins chargée de carbonate d'ammoniaque et d'acide carbonique, la minime quantité de cuivre nécessaire pour enrayer le développement des conidies que le vent dépose à la surface des feuilles. La chaux me semble donc jouer un triple rôle dans le mélange. Au moment de l'aspersion, elle agit comme un mordant énergique qui fixe la goutte préservatrice sur la feuille et détermine son adhérence intime. Pendant quelques jours, elle est capable de tuer les conidies et les zoospores par sa causticité. Enfin, lorsqu'elle s'est transformée en carbonate, elle sert à la formation de la provision d'oxyde de cuivre » (1).

Mais le cuivre est encore mis en œuvre d'une autre manière.

L'expérience suivante le montre : des souches de *Riparia* et de *Cinerea* sont aspergées les unes, une fois ; les autres, deux

fois, les 11 et 15 septembre avec une solution de sulfate de cuivre à  $\frac{2.5}{1.000}$ . Du 16 au 23 septembre, ces feuilles sont lavées par des pluies quotidiennes.

Mais l'eau qui s'égoutte des feuilles, à partir de cette dernière date, ne renferme pas de cuivre. Une partie a donc été lavée. Mais il en reste cependant sur la feuille car l'analyse a révélé la quantité suivante :

Feuilles de *Riparia* aspergées une fois : 9 milligr., 8 par kilogramme de feuilles ; feuilles de *Riparia* aspergées deux fois : 70 milligr., par kilogramme de feuilles.

Feuilles de *Cinerea* aspergées une fois : 6 milligr., par kilogramme de feuilles ; feuilles de *Cinerea* aspergées deux fois : 24 milligr., par kilogramme de feuilles.

2<sup>e</sup> Expérience. — On soumet à dix lavages successifs, d'abord à l'eau pure, puis à l'acide chlorydrique à 1 o/o des feuilles de vignes qui ont reçu en octobre un traitement avec une solution à  $\frac{2.5}{1.000}$  et qui a été suivi de pluies fréquentes.

Les dix lavages successifs à l'eau pure donnent au total, en cuivre par kilogramme de feuilles..... 14 milligr., 1

Les dix lavages à l'acide chlorydrique à 1 o/o,  
au total..... 73 milligr., 1

Ces feuilles sont ensuite calcinées ; on recherche le cuivre dans les cendres et on trouve, chez les premières, 4 milligr., 6 et chez les secondes 5 milligr., par kilogramme de feuilles.

Le rapport du cuivre des cendres au cuivre total est, par suite, dans le premier cas, de 58,3 o/o et de 6,1 o/o dans le second.

Il faut conclure de ceci que, déposé en solution étendue, le cuivre est absorbé rapidement par la feuille, qui ne le cède plus aux pluies.

Il en est encore de même pour les mélanges cupriques, tels que bouillies, poudres, etc., seulement ici la quantité fixée par les feuilles est plus faible. Elle est en effet liée au degré de solubilité des composés cuivreux. La bouillie bordelaise, par exem-



ple, cède 17 o/o de cuivre à la feuille, et les solutions jusqu'à 50 et 58 o/o. Et l'absorption du cuivre est très rapide : en moins de deux heures, les feuilles absorbent assez de cuivre pour devenir complètement réfractaires au *Peronospora*.

Comment le cuivre est-il fixé ? M. Schloesing a émis l'hypothèse qu'il « pouvait être absorbé par la plante en quantité assez grande pour donner aux liquides constitutifs des feuilles une concentration incompatible avec le développement du parasite ».

D'après M. Cornu, au contraire, le cuivre serait retenu par les membranes des cellules que le filament germinatif des zoospores est obligé de percer pour opérer l'infection de la feuille.

Le cuivre est toxique pour le contenu cellulaire de toutes les plantes ; en gênant le développement du Mildiou, dans l'explication de M. Schloesing, il générerait aussi celui de la vigne. Or, il n'en est rien, au contraire, dans la pratique. Et si, par des procédés connus, on sépare la cuticule des autres tissus des feuilles et qu'on la place dans une solution diluée de sulfate de cuivre, elle fixe et retient très fortement, même après un temps très court (demi-heure), une grande partie du cuivre de la solution. Et, d'autre part si on sépare la cuticule des feuilles qui ont reçu une quantité connue d'une solution cuprique, on voit qu'elle en retient une grande partie, une partie cependant arrive jusqu'à la face inférieure, et contribue dans une certaine mesure à arrêter le premier développement du Mildiou et même le développement ultérieur (d'après Millardet).

Ainsi donc, c'est dans la cuticule et dans les membranes que le cuivre est fixé. Il est probable, ainsi que le suppose M. Mangin, qu'il forme une combinaison avec l'acide pectique qui provient de la transformation de la pectose des couches cuticulaires.

Ces explications de Millardet doivent être révisées. Il est bien acquis que les germes de la maladie ne pénètrent pas à travers la cuticule. Alors à quoi peut bien servir la réserve cuprique cuticulaire ? Il faut, pour qu'elle soit utile, qu'elle puisse passer à son tour dans l'eau de pluie ou de rosée. Sous l'influence de la

respiration, le cuivre ne se transformerait-il pas en carbonate suffisamment soluble ?

Au reste, les solutions fugaces sont loin d'avoir la même efficacité que les dépôts solides adhérents ou collés seulement à la surface. D'autre part le cuivre ne pénètre pas dans les feuilles, et la preuve c'est qu'on peut très facilement contaminer par la face inférieure des feuilles couvertes de cuivre en-dessus. Les fig. 45 et 46 en témoignent.

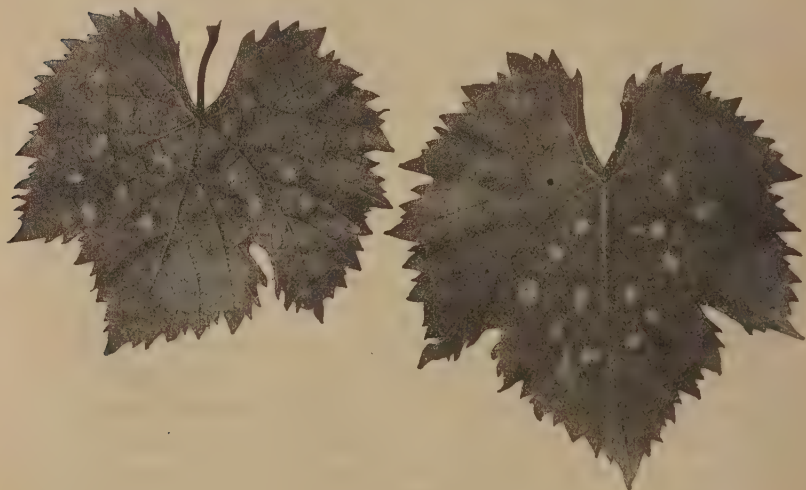


Fig. 45. — Mildiou obtenu par inoculations sur feuilles d'aramon ayant préalablement reçu à la face supérieure une bouillie à 4 o/o de sulfate de cuivre.

Fig. 46. — Mildiou obtenu par inoculation sur feuille d'aramon préalablement traitée à la face supérieure par une bouillie à 6 o/o de sulfate de cuivre.

La sensibilité des conidies et des zoospores au cuivre a peut-être été aussi exagérée dans les expériences de Millardet. Dans

les nôtres, il a fallu remonter aux solutions à  $\frac{3}{1.000.000}$

de sulfate de cuivre pour arrêter toute germination; et si ces solutions contenant des germes sont répandues *sous* les feuilles,

la contamination est encore réalisée avec les solutions de sulfate de cuivre à  $\frac{2.5}{1.000.000}$  au lieu de  $\frac{1}{1.000.000}$ .

Nous allons examiner maintenant les formes sous lesquelles le cuivre est employé pour la défense des vignes.

**SOLUTION DU SULFATE DE CUIVRE.** — Le sulfate de cuivre se présente en cristaux d'un beau bleu, qui, exposés longtemps à l'air sec, s'effleurissent et se couvrent d'une sorte de poussière blanche. Ils contiennent 5 molécules d'eau de cristallisation et leur formule est, par suite, la suivante :  $\text{SO}_4\text{Cu} + 5\text{H}_2\text{O}$ . Leur réaction est acide. Chauffés vers 250 degrés, ils deviennent anhydres et perdent leur couleur bleue. Ils se réduisent alors facilement en poussière. Ils sont très solubles dans l'eau.

On le trouve aussi dans le commerce à l'état de neige ou granulé ; sa dissolution à cet état est très rapide.

Il contient 25 o/o de cuivre pur.

En solution plus ou moins concentrée, le sulfate de cuivre a été employé pour la défense des vignes, répandu soit à la surface des organes à préserver, soit dans et sur les échelas et les liens de paille. Les échelas sont immergés dans une solution de sulfate de cuivre à 1,5 o/o et les liens dans une solution à 1 ou 2 o/o. Ils n'agissent que par le sulfate de cuivre qu'ils cèdent aux feuilles sous l'action des lavages produits par les pluies. Leur rayon d'action est donc très limité, il peut être presque suffisant pour les ceps des vignobles plantés serrés et où la végétation se réduit à deux ou trois rameaux, au besoin raccourcis et bien accolés à l'échelas. Mais pour les souches très espacées, à grand développement, comme dans le midi de la France, beaucoup de feuilles sont en dehors de leur rayon d'action. Les liens sulfatés peuvent évidemment être employés avec avantage partout où l'on palisse la vigne ; les échelas sulfatés ne conviennent, on le sait, qu'à quelques régions. Les uns et les autres ne peuvent suffire seuls.

Répandues à la surface des organes herbacés, les solutions de sulfate de cuivre sont évidemment plus efficaces. Le degré

de concentration doit malheureusement varier avec l'état de la végétation. Quand les tissus sont tendres, c'est-à-dire en mai, par exemple, les solutions au  $\frac{5}{4.000}$ , qui sont déjà bien faibles, produisent des brûlures; il faut descendre au  $\frac{2.5}{4.000}$  pour que les brûlures ne se produisent pas, et, à ce titre, l'efficacité des solutions n'est pas toujours suffisante. C'est, qu'en effet, répandue à la surface des organes herbacés, la solution en s'évaporant laisse déposer une foule de petits cristaux qui sont très solubles et que les pluies enlèvent facilement (1). Une partie, il est vrai, pénètre dans la cuticule où elle est fixée, mais il n'en est pas moins vrai que les solutions donnent des réserves de cuivre qui peuvent être insuffisantes.

Lorsque la végétation est plus avancée, elle supporte des solutions à concentration plus forte : 2-3 o/o et même 10 o/o. d'après Muntz? Mais on ne peut jamais, en raison des variations que présente l'allure de la végétation, compter sur leur complète innocuité pour la vigne.

Comme, d'autre part, les solutions ne *marquent* pas les feuilles, elles sont actuellement peu employées. Celles dont on fait usage pour les premiers traitements, sont au titre de  $\frac{3-4}{4.000}$ ; on leur ajoute quelquefois un peu de chaux pour les blanchir.

VERDET NEUTRE. — Tous les composés solubles du cuivre ont semble-t-il *sensiblement* la même action à égalité de teneur en cuivre, sur la germination des conidies ou des zoospores. Mais leur action sur la vigne n'est pas la même. Les sulfates, les azotates, les chlorures, brûlent les organes très tendres. Il n'en est pas de même de beaucoup de composés organiques. L'acétate de cuivre neutre ou verdet neutre, cristaux de Vénus, verdet cristallisé,

(1) « Après de forts et suivis orages, l'eau de pluie qui s'égoutte des feuilles qui ont reçu une aspersion d'une solution, ne contient pas de cuivre, tandis que celle qui s'égoutte des feuilles traitées à la bouillie calcaire en contient et empêche la germination ». MILLARDET. *Loc. cit.*, p. 67.

même à dose même très élevée est, généralement, inoffensif pour la vigne quand il est bien préparé. C'est un sel qui se présente sous la forme de cristaux vert-bleuâtre foncé, qui ont pour formule  $(C^2H^3O^2)^2 Cu + H^2O$ . Ils renferment 31 o/o de cuivre. Ils sont très solubles dans l'eau et donnent une solution d'un bleu verdâtre.

Cette solution peut être appliquée à forte concentration sur les organes herbacés de la vigne. En général, elle est au titre de 1 o/o, ce qui correspond à 1 kil. 380 de sulfate de cuivre. Elle présente les avantages de la solution de sulfate de cuivre ; elle en a aussi le peu d'adhérence et une partie seulement agit efficacement, l'autre partie est enlevée par les pluies, si elles surviennent tout de suite après l'épandage du remède. Si, au contraire, elles tombent plus tard, le verdet neutre, d'après M. Chuard, s'est transformé en verdet basique peu soluble, très adhérent ; et voilà à quoi tiendrait l'efficacité bien reconnue et bien établie du verdet neutre, malgré qu'il soit tout d'abord très soluble.

VERDET GRIS (OU VERT DE MONTPELLIER). — Ainsi appelé de sa couleur et de son lieu de production. C'est un produit complexe. Il renferme surtout de l'acétate bibasique de cuivre, et quelques autres acétates. Sa composition n'est pas d'ailleurs constante, mais c'est l'acétate bibasique qui domine  $(C^2H^3O^2)^2 Cu, H^2CuO^2$ . Il se présente à l'état de grumeaux ou de petits cônes d'un bleu grisâtre, et renferme 33-35 % de cuivre. Mis dans l'eau, l'acétate bibasique se dédouble :

1° En acétate neutre  $(C^2H^3O^2)^2 Cu, H^2O$ , qui reste en solution dans l'eau ;

2° Et en oxyde de cuivre hydraté, d'après M. G. Bencker, ou en acétate tribasique, d'après d'autres chimistes, peu solubles et qui précipitent ou cristallisent. Il se produit sûrement autre chose que de l'oxyde hydraté.

Quoi qu'il en soit, cette mixture fournit du cuivre dissous — comme le verdet neutre — qui agit immédiatement sur les germes du parasite et du cuivre précipité peu soluble, qui constitue la réserve permanente. Le verdet gris doit donc être très efficace, et il a donné partout de bons résultats.

*Préparation.* — Dans un récipient quelconque, on met le verdet gris avec une petite quantité d'eau ; par exemple pour  $n$  kilos de verdet,  $10 n$  kilos d'eau. On laisse macérer pendant 2 jours en ayant soin d'agiter de temps en temps et on ajoute l'eau nécessaire pour amener le mélange au titre voulu. On répand avec un pulvérisateur. *Si la macération n'a pas été suffisamment prolongée, le verdet reste en grumeaux ; il adhère mal et perd de son efficacité.*

BOUILLIE BORDELAISE. — Le sulfate de cuivre en solution concentrée est caustique pour les feuilles. Il est facile de lui enlever sa causticité en le saturant avec :

*De la chaux.* — On obtient ainsi le mélange bordelais employé d'abord contre les passants et qui est devenu la *Bouillie bordelaise*.

*Préparation.* — La première formule de préparation de la bouillie bordelaise a été donnée par Millardet.

« Dans 100 litres d'eau quelconque (de pluie ou de rivière) on fait dissoudre 8 kilos de sulfate de cuivre du commerce. D'un autre côté, on fait, avec 30 litres d'eau, et 15 kilos de chaux grasse, en pierres, un lait de chaux qu'on mélange à la solution de sulfate de cuivre et l'on étend à 100 litres. »

Mais il fut bientôt établi, surtout à la suite des remarques d'Audouynaud, que les bouillies à titre plus faible étaient sensiblement aussi efficaces. On s'arrêta tout d'abord à la bouillie à 3 % de sulfate de cuivre, puis à 2 % et à 1 %, et à la quantité de chaux nécessaire pour neutraliser la solution de sulfate de cuivre, soit 226 grammes de chaux hydratée pure, résultat constaté avec le tournesol ou la phénolphtaléine.

Galloway, le premier, proposa, en 1896, un autre procédé : on fait dissoudre le sulfate de cuivre et on dilue le lait de chaux chacun séparément dans un volume d'eau égal à la moitié du volume total de la bouillie et on verse *simultanément* ces deux solutions dans un récipient en agitant ; on obtient ainsi un précipité très léger et très volumineux. Ce mode de préparation a été adopté dans divers domaines du Midi de la France.



Kelhofer a modifié cette technique. Pour obtenir le précipité le plus volumineux, il recommande de verser peu à peu la solution diluée de sulfate de cuivre dans le lait de chaux. On obtiendrait toutefois des résultats presque aussi satisfaisants en versant rapidement le lait de chaux dilué dans la solution également diluée au même volume de sulfate de cuivre.

Enfin, une autre méthode, qui tend à se répandre, est la suivante :

On fait un lait de chaux dilué dans un volume d'eau égal au volume total de la bouillie et l'on ajoute peu à peu du sulfate de cuivre *granulé* ou en *neige* jusqu'à neutralisation.

Ce procédé a d'abord l'inconvénient de ne pas donner des bouillies de teneur constante en cuivre, ce qui a cependant quelque importance, car *dans la pratique*, un même poids de chaux vive ou éteinte, ne correspond pas toujours au même poids de sulfate de cuivre.

Pickering conseille un autre mode de préparation : on mélange une solution saturée *d'eau de chaux* à une solution de sulfate de cuivre : on obtient ainsi une bouillie qui est remarquable par la légèreté du précipité.

Enfin, on peut aussi mélanger les solutions concentrées de sulfate de cuivre et de lait de chaux ; on obtient des précipités lourds, et qu'on considère comme moins efficaces.

Si l'on juge de la valeur d'une bouillie d'après la légèreté du précipité, la bouillie Pickering peu pratique du reste, et celle de Galloway paraissent les meilleures. En versant un des éléments sous la forme concentrée dans le second à l'état très dilué, on obtient aussi des précipités légers si l'on a soin d'agiter le mélange.

La diversité des résultats obtenus est bien mise en évidence par les expériences suivantes de L. A. Hawkins (1).

« *Effet des différentes méthodes de mélange sur le dépôt des matières en suspension.* — Les méthodes de mélange ont été les suivantes :

---

(1) L. A. HAWKINS. In *Progrès agricole et viticole*, 1914.

1) Chaux hydratée et sulfate de cuivre dilués à 500 cc. chacun et coulant simultanément dans un récipient. Procédé Galloway.

2) Chaux hydratée et sulfate de cuivre dilués à 500 cc. chacun, et la chaux hydratée coulant dans le sulfate de cuivre.

3) Chaux hydratée et sulfate de cuivre dilués à 500 cc. chacun, et le sulfate de cuivre coulant dans la chaux hydratée.

4) Chaux hydratée diluée à 950 cc. et agitée ; sulfate de cuivre dilué à 50 cc. et versé dans la chaux hydratée.

5) Sulfate de cuivre dilué à 950 cc. ; hydrate de chaux dilué à 50 cc. et ajouté au sulfate de cuivre.

6) Chaux hydratée et sulfate de cuivre dilués à 50 cc. chacun ; la chaux hydratée ajoutée au sulfate de cuivre et le mélange dilué à 1000 cc.

« On a réalisé, en outre, le dépôt formé par la bouillie de Woburn, recommandée par Pickering et formée d'eau de chaux et de sulfate de cuivre en solution.

» Les résultats obtenus sont différents . Dans toutes ces expériences, toutefois, en ce qui concerne le n° 1, la méthode de mélange d'abord décrite par Galloway a donné une matière en suspension qui déposait aussi lentement que tout autre, sauf la bouillie bordelaise de Pickering. Les résultats des n° 2 et 3 sont voisins la plupart du temps de ceux du n° 1. En ce qui concerne les n° 4 et 5, pour lesquels l'un des composants était versé sous une forme concentrée dans l'autre, amené à peu près au volume total désiré, on a obtenu à peu près d'aussi bons résultats qu'avec le n° 1, à la condition d'agiter convenablement les mélanges.

» Lorsque les deux éléments étaient mélangés sous la forme concentrée comme au n° 6, la matière en suspension se déposait bien plus rapidement qu'avec toute autre préparation. Cette manière de préparer la bouillie bordelaise paraît donc tout à fait à rejeter, ainsi, du reste, qu'en ont jugé la plupart des auteurs».

« *Effet de l'agitation sur le dépôt des matières en suspension.* — On a fait des expériences pour voir quel était l'effet de l'agitation renouvelée plus ou moins souvent sur la rapidité du dépôt des matières en suspension, quand on préparait la bouillie

en ajoutant l'un des composants sous la forme concentrée à l'autre dilué presque à la quantité de solution désirée, comme aux n° 4 et 5. L'importance de l'agitation étant mesurée par le nombre de va et vient du récipient, pendant l'opération. Comme il y avait toujours un grand espace vide au-dessus du litre de mélange dans le récipient on pouvait obtenir une agitation très complète par cette méthode.

*Expériences avec la chaux concentrée versée dans le sulfate de cuivre dilué.* — Dans les expériences faites avec la chaux concentrée, versée dans la solution de sulfate de cuivre diluée, on a préparé cinq mélanges : A) Solution type, destinée à servir de terme de comparaison, obtenue en mélangeant le sulfate de cuivre et la chaux hydratée, dilués chacun à 500 cc., simultanément de manière à former 1000 cc. — (B à E). Préparés en versant la chaux diluée à 50 cc. dans le sulfate de cuivre dilué à 950 cc. A et B furent chacun secoués 5 fois ; C 15 fois ; D 25 fois et E 35 fois. Les préparations ont été laissées au repos, pendant 1 heure et on a lu alors le volume du précipité sur la graduation. On a trouvé que le précipité en B, secoué comme il est indiqué, tombait beaucoup plus vite que A, alors que de C à E, secoués de 15 à 35 fois, le liquide en suspension se déposait presque aussi lentement qu'en A. Les expériences ont été répétées un certain nombre de fois avec des résultats identiques. Une description du traitement et des résultats obtenus est donnée au tableau suivant.

Tableau. — *Résultats des expériences montrant l'effet de l'agitation de la bouillie bordelaise quand la chaux concentrée est versée dans le sulfate de cuivre dilué.*

Mélange employé et méthode de préparation	Nombre de secousses	Volume du précipité
A. — Solution type de chaux et de sulfate diluée à 500 cc. et coulant simultanément dans le récipient.....	5	cc. 970
B. — Chaux diluée à 50 cc. versée dans sulfate de cuivre, solution diluée à 950 cc..	5	805
C. — Même préparation que B.....	15	970
D. — Même préparation que B.....	25	970
E. — Même préparation que B.....	35	970

*Expériences avec sulfate de cuivre versé dans la chaux diluée.*

— Dans la série d'expériences dans laquelle le sulfate de cuivre était dilué à 50 cc. et versé ensuite dans la chaux délayée dans 950 cc., les résultats étaient les mêmes que quand la chaux hydratée concentrée était versée dans le sulfate de cuivre dilué. Les expériences sont comparables à tous égards puisque, dans les deux séries, on emploie les mêmes quantités, que le nombre de secousses est le même, et que les observations sont faites au bout d'un temps identique. Les expériences individuelles ont été répétées un certain nombre de fois, avec des résultats presque identiques. Une moyenne de trois, dans lesquelles les préparations ont été faites avec du sulfate de cuivre du commerce et de la pierre à chaux ordinaire, ont donné les résultats indiqués dans le tableau suivant :

Tableau. — *Résultats des expériences montrant l'effet de l'agitation de la bouillie bordelaise lorsque la solution de sulfate de cuivre concentrée est versée dans la chaux diluée.*

Mélange employé et mode de préparation	Nombre de secousses	Volume du précipité
A. — Solution type de chaux et de sulfate de cuivre à 500 cc., coulant simultanément dans le récipient.....	5	cc. 972.5
B. — Sulfate de cuivre dilué à 50 cc. et versé dans la chaux hydratée diluée à 950 cc.....	5	703
C. — Préparation semblable à B.....	15	836
D. — Préparation semblable à B.....	25	916
E. — Préparation semblable à B.....	35	900

*Discussion des effets de l'agitation.* — « Les expériences précédentes semblent prouver que la proportion du dépôt des matières en suspension dans la bouillie bordelaise ne dépend pas entièrement de la manière dont les composants sont mis en présence, mais qu'elle dépend aussi jusqu'à un certain point, du nombre de secousses données. Par exemple, si les mélanges dans lesquels l'un des composants à haute concentration est versé dans l'autre dilué presque au volume demandé, sont agités suffisamment, la matière en suspension qui en résultera se précipitera aussi lentement que dans le mélange préparé par la méthode type préconisée par Galloway. D'autre part, si les mélanges préparés de cette manière ne sont que peu secoués, le précipité tombe bien plus rapidement. On trouve une explication plausible de ce fait, apparemment dans les particularité du précipité formé lorsque les deux composants de la bouillie bordelaise sont réunis. A ce sujet, les conclusions des travaux de Swingle paraissent être généralement acceptées.

« Cet auteur a démontré que quand la chaux hydratée et une solution de sulfate de cuivre sont mis en présence, il se forme de petites cellules de Traube, formées d'une membrane de préci-

pitation du composé de cuivre insoluble entourant, soit la goutte de solution de chaux hydratée, soit une particule de chaux hydratée insoluble. On peut supposer que, dans le second cas, les particules de chaux hydratée restant à l'intérieur de la membrane de précipitation doivent les entraîner et les faire déposer plus rapidement que celles où il n'existe pas de corps solide. Si toutefois, le mélange était agité plus vigoureusement, les membranes pourraient être brisées et la partie non dissoute de la chaux pourrait se précipiter au fond, sans entraîner avec elle les membranes de précipitation du cuivre combiné.

« Cette explication est fortifiée encore par le fait que lorsque l'on prépare la bouillie bordelaise en faisant couler simultanément les deux solutions diluées dans le récipient, en agitant bien la chaux pendant ce temps là, la matière en suspension se dépose bien moins vite qu'un mélange dans lequel l'un des composants très concentré est versé dans un autre dilué, si les mélanges ne sont que peu agités. Dans le cas des deux composants de notre mélange, où chacun d'eux est dilué à moitié du volume requis, les particules de chaux hydratée seront suspendues dans un volume relativement important de liquide, et les membranes de précipitation de la bouillie bordelaise faite avec ce lait de chaux seront bien plus petites et contiendront moins de matière solide pour les entraîner que si la chaux hydratée était ajoutée en masse pâteuse. D'autre part, la formation de membranes de précipitation épaisses et lourdes est bien moins probable si les deux solutions diluées sont réunies ensemble que si la solution concentrée de sulfate de cuivre est ajoutée à la chaux hydratée.

« La bouillie Woburn de Pickering préparée pour ces expériences, fournit aussi une nouvelle preuve de cette explication. Ce mélange a été préparé en ajoutant une solution concentrée de sulfate de cuivre à une solution saturée d'eau de chaux filtrée. Il n'y avait pas dans le mélange de chaux hydratée insoluble ; tout au plus une petite quantité de sulfate de chaux non dissoute. Par suite, comme il n'y a aucun corps solide pour faire déposer le précipité, il reste en suspension dans la liqueur beaucoup



mieux que dans la bouillie de Bordeaux préparée par le procédé ordinaire. Le résultat a été conforme à ce qu'on attendait. On a complété la liqueur et elle est restée sur la table pendant environ deux mois, en agitant de temps en temps. Le précipité se déposait très lentement après chaque agitation et n'atteignait jamais le point auquel il était impossible de le maintenir en suspension uniforme dans tout le mélange.

« De ces faits, il paraît juste de conclure que la lente précipitation dans les expériences où l'un des composants très concentré est ajouté à l'autre après dilution, presque au volume total requis, est due à la rupture des membranes et à l'élimination, partielle tout au moins, de la chaux hydratée solide et du sulfate de chaux du précipité en suspension ».

*Structure physique du précipité.* — D'après Lutman (1), la structure physique du composé cuprique précipité, est la caractéristique qui donne à la bouillie bordelaise toute sa valeur.

« Swingle dit-il est sans doute le premier qui ait fait observer que les flocons bleu de ciel du précipité apparaissent au microscope comme une multitude de vésicules semblables à celles qui se produisent quand on jette une parcelle de sulfate de cuivre dans une solution de ferrocyanure de potassium, et qu'on appelle des cellules de Traub.

« Le moyen le plus simple pour faire cette observation avec la bouillie bordelaise, est de laisser tomber doucement une goutte de lait de chaux dans une faible solution de sulfate de cuivre. Dès que le lait de chaux et la solution de sulfate de cuivre viennent en contact, une membrane bleue est formée; elle entoure une goutte de lait de chaux qui est ainsi séparée de la solution de cuivre environnante. Cette membrane est d'abord très délicate et peut être facilement brisée, mais après un repos de quelques heures, elle devient suffisamment épaisse pour que le récipient qui la contient puisse être déplacé sans briser la vésicule. Les solutions plus fortes de sulfate de cuivre et d'eau de chaux semblent produire du premier coup une membrane plus

---

(1) LUTMAN. Sur le pouvoir couvrant de la Bouillie bordelaise. *Phytopathology*, 1942.

épaisse, plus difficile à rompre qui, après quelques heures de repos, devient si résistante que la solution de sulfate de cuivre peut être enlevée sans que la vésicule contenant la chaux, perde sa forme. L'addition de sucre au lait de chaux avant son introduction dans la solution de sulfate de cuivre, affaiblit la membrane et augmente le pouvoir osmotique de l'eau de chaux ; la goutte prendra l'eau de la solution de sulfate de cuivre et flottera dans toutes les directions. Cet affaiblissement des membranes du précipité est un des principaux avantages de l'addition du sucre à la bouillie bordelaise ; la membrane étant plus mince et plus flexible sera plus facilement projetée et s'appliquera mieux sur toutes les surfaces irrégulières.

L'importance du déchirement de la membrane par le mouvement est évidente ; les membranes ne se rompent pas par elles-mêmes et chaque nouvelle vésicule produit un accroissement du pouvoir couvrant de la mixture et une économie de matériaux. Il semblerait que le nombre des membranes de précipitation peut être augmenté indéfiniment par des mouvements répétés et prolongés. Cela est vrai dans une certaine limite déterminée par la quantité de cuivre et de chaux en présence. »

Mais le précipité de la bouillie bordelaise n'est pas toujours constitué par des vésicules. Les vésicules ne paraissent se former que quand on verse la chaux dans la solution de sulfate de cuivre ; en faisant l'inverse on obtient un procédé gélatineux plus ou moins léger, sans vésicules. Et cependant ces dernières bouillies sont efficaces, mais le sont-elles autant que les autres ?

Les vésicules renferment presque toujours un noyau de chaux qui est inutilisé ; et c'est pourquoi il faut plus de chaux pour neutraliser dans ces sortes de bouillies que dans les autres.

Si l'on mesure avec Lutman la surface de ces vésicules, une fois qu'elles sont aplaties sur le verre ou sur la feuille, on trouve qu'elles recouvrent pour 1 cc.

		centimètres carrés
Bouillie Pickering .....		70.6
Bouillie Bordelaise	2 1/2 — 2 1/2 — 50	111.8
— —	5 — 5 — 50	257.0
— —	10 — 10 — 50	393.6
— —	20 — 20 — 50	498.8
— —	chaux 5 sulfate de cuivre p. neutraliser	296.6

La surface des enveloppes des vésicules de Traub est, ainsi qu'on le voit, fonction du titre des bouillies ; mais elle ne lui est pas proportionnelle ; elle est aussi fonction de l'agitation durant la concentration des solutions mises en présence, c'est-à-dire du mode de préparation.

En somme, les bouillies les plus légères n'ont pas, forcément, le pouvoir couvrant le plus grand.

Quant aux autres précipités, les uns restent longtemps en suspension, ce qui indique un état de division extrême, d'autres sont plus lourds.

*Composition de la bouillie bordelaise.* — D'après Millardet et Gayon, la bouillie bordelaise est à peu près exclusivement un mélange :

1° D'hydrate d'oxyde de cuivre ;

2° De sulfate de chaux ;

3° De sulfate de cuivre ou de chaux suivant que la bouillie est acide ou alcaline.

L'équation de transformation serait la suivante :



et il se peut bien qu'il en soit parfois ainsi.

D'après Swingle, le résultat de la combinaison de la solution de sulfate de cuivre et du lait de chaux consiste essentiellement en une solution aqueuse saturée de sulfate de calcium et d'hydrate de chaux, contenant en suspension du sulfate de chaux, de l'hydrate d'oxyde de cuivre et de la chaux hydratée.

Mais d'après A.-M. Berlèse et L. Sostegni, cette équation est trop simple.

« Elle ne représente qu'une partie de la réaction et non la plus importante disent-ils. Les expériences de MM. Formento, Besta, Tripodi, avaient déjà montré la présence de sels basiques de cuivre dans ces mélanges. Un de nous a également fait sur le même sujet une série de recherches en étudiant la composition de ces mélanges et leur action sur les feuilles en présence des agents atmosphériques.

» Toutes ces expériences ont mis en évidence que la bouillie cuprocalcique, obtenue en ajoutant du lait de chaux très dilué à une solution de sulfate de cuivre, jusqu'au moment où l'on a une réaction faiblement alcaline, est formée principalement par les composés suivants :



» Si, en outre, la proportion de chaux n'est pas en excès, il reste en solution pendant quelque temps de faibles quantités de sel de cuivre, et, il semble, en partie à l'état de sulfate double de cuivre et de chaux sur le type de la lyellite, ayant pour formule :  $\text{Cu}^1 (\text{OH})^3 \text{SO}^4 + 2 \text{CaSO}^4, 4 \text{HO}$ , et en partie à l'état de bicarbonate, formé en présence de l'acide carbonique qui se dégage du carbonate de chaux toujours mêlé à la chaux ordinaire des maçons. La proportion du sulfate basique de cuivre contenue dans ces bouillies varie d'une manière sensible suivant leur mode de préparation,

» La présence de ces sulfates basiques a une grande importance, car ils sont très sensibles non seulement à l'action des sels ammoniacaux, mais aussi à l'action de l'acide carbonique de l'air et à celui qui est rejeté par les feuilles; ce dernier, surtout dans l'eau de rosée, forme un dissolvant très énergique de ces corps. Cela a été démontré par les expériences directes faites par l'un de nous ».

D'après Pickering, les produits de la réaction sont plus complexes. Parmi eux, il a reconnu la présence des suivants :

4 CuO SO<sup>3</sup> ou sulfate tétracuvrique.

5 CuO SO<sup>3</sup>

10 CuO SO<sup>3</sup>

10  $\text{CuO SO}_3$ ,  $\text{CaO}$

$\text{CuO}, 2 \text{ CaO}$  (d'une existence douteuse)

$\text{CuO } 3 \text{ CaO}$

L'abondance des uns et des autres dépend du mode de préparation de la bouillie.

Ces sels n'exigent pas pour se former les mêmes quantités de chaux hydratée. Si pour obtenir l'hydrate de cuivre, il en faut la quantité indiquée plus haut. soit 226 gr. par kilog. de sulfate de cuivre, 169 grammes suffisent pour obtenir le sulfate tetrabasique. Il peut donc y avoir *plusieurs* bouillies calciques *neutres*.

Mais ce n'est point à ces caractères qu'on peut juger les diverses bouillies bordelaises ; c'est seulement par leurs effets sur la maladie.

RÉSUMÉ. — En résumé, pour obtenir des bouillies à *précipité léger*, à vésicules minces et, par suite, «couvrant» de grandes surfaces, il faut mettre en présence des solutions aussi faibles que possible de chaux et de sulfate de cuivre. Plusieurs méthodes de préparation de la bouillie bordelaise permettent d'obtenir ce résultat.

A. D'abord le « procédé *Galloway* », encore appelé « procédé américain », qui donne une bouillie très légère et dont l'efficacité est bien établie.

B. Mais en délayant instantanément par une *agitation rapide* un lait de chaux *concentré* versé *très lentement* dans une solution *diluée* de sulfate de cuivre, ne met-on pas en présence, en définitive, *deux* solutions très diluées ? Et la solution de sulfate de cuivre ne devient-elle pas de plus en plus diluée à mesure qu'on ajoute de la chaux ?

Donc, quand on n'opère pas suivant le procédé américain, la technique à suivre est celle-ci :

Pour  $n$  hectolitres de bouillie : 1° dissoudre le sulfate de cuivre dans  $n$  90 litres d'eau ; 2° délayer la chaux dans  $n$  10 litres d'eau ; 3° Verser (2) dans (1) lentement et en agitant vivement jusqu'à saturation par exemple, constatée au tournesol.

En opérant ainsi, les réactions ont lieu en *milieu acide*, et il se produit les composés qui ont été indiqués plus haut.

C. Dans le procédé américain, la chaux est à peu près toujours en excès, car elle ne peut être dosée avec la même précision que le sulfate de cuivre. Il s'en suit, et aussi parce que le titre de la solution cuprique va en diminuant, que les réactions se passent en *milieu alcalin*.

Or, en versant peu à peu une solution concentrée de sulfate de cuivre de *n* 10 litres d'eau dans *n* 90 litres de lait de chaux et en agitant vivement, les réactions se passent également en milieu alcalin constant. Le résultat final doit donc être sensiblement le même; et en effet on obtient, en opérant ainsi, une bouillie très légère.

D. La concentration de la solution de sulfate de cuivre n'a évidemment pas de limite; on peut donc lui substituer du sulfate de cuivre en poudre. Si l'on jette peu à peu cette poudre dans le lait de chaux dilué, elle se dissout *lentement* et on met finalement en présence des solutions très diluées de sulfate de cuivre et de chaux. On obtient de cette façon des bouillies très légères; et plus la poudre de sulfate de cuivre est grossière, plus sont diluées les solutions qu'elle donne dans l'unité de temps.

E. On peut aussi arriver sensiblement au même résultat en mélangeant, un peu avant l'emploi le sulfate de cuivre et la chaux en poudre. Si l'on jette ce mélange *peu à peu* dans l'eau et en agitant vivement, on obtient encore une bouillie à précipité léger, et d'autant plus léger que la poudre de sulfate de cuivre est plus grossière, on sait pourquoi.

Mais on peut s'en tenir soit au procédé américain, soit à la technique indiquée en B, qui est aussi la plus ancienne; soit encore à celle où chaux et sulfate de cuivre sont dilués dans le même volume d'eau.

*Bouillie acide.* — On prépare d'abord une bouillie neutre ou sensiblement neutre, et l'on ajoute 100, 200 ou 300 gr. de sulfate de cuivre dissous dans un peu d'eau. On admet sans preuve décisive que les bouillies acides sont les plus actives.



*Bouillie alcaline.* — Toute bouillie neutre au moment de sa préparation devient généralement alcaline dans la suite.

BOUILLIE SUCRÉE. — Proposée par Michel Perret. En voici la formule :

1°	Sulfate de cuivre dissous dans 10 litres	
	d'eau .....	2 kilogs
2°	{ Chaux diluée et délayée dans 10 litres	
	{ d'eau, .....	2 kilogs
	{ Mélasse délayée dans 10 litres d'eau...	2 litres

On verse le lait de chaux dans la mélasse en agitant ; il se forme du saccharate de chaux ; et l'on verse le tout peu à peu dans la solution de sulfate de cuivre.

On obtient ainsi une bouillie d'un beau bleu dont le précipité est sans doute le même que celui de la bouillie bordelaise, et qui est surmonté d'un liquide clair, d'une jolie couleur bleue due au saccharate de cuivre dissous.

Toutes les doses indiquées dans la formule précédente peuvent varier. Le carbonate de soude peut être substitué à la chaux.

BOUILLIE BOURGUIGNONNE. — Substituons à la chaux le carbonate de soude, comme l'a proposé, le premier, M. Masson, en 1887 (1). On réalise la bouillie bourguignonne.

La technique proposée par M. Masson est la suivante :

« Faire dissoudre dans une chaudière le poids indiqué de sulfate de cuivre dans 5 à 6 litres d'eau ; et pendant que la liqueur sulfatée est chaude, ajouter les cristaux de soude petit à petit en agitant vivement avec un bâton en bois. Quand tous ces cristaux sont bien fondus, on étend le mélange liquide à 100 litres par addition d'eau. » (1).

Aujourd'hui on opère autrement :

On fait d'une part une solution du sulfate de cuivre nécessaire par hectolitre de bouillie dans 90 litres d'eau : d'autre part, une solution de carbonate de soude dans 10 litres d'eau, et l'on

---

(1) *Progrès agricole et viticole*, T. I, p. 513, 1887.

verse la seconde solution dans la première en agitant. On obtient ainsi une bouillie d'un bleu pâle.

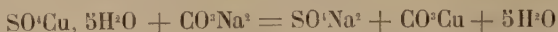
Comme le carbonate de soude qu'on emploie est habituellement anhydre et à titre constant (carbonate de soude Solvay), on peut fixer pratiquement la quantité de ce sel nécessaire pour saturer au *degré voulu* la solution de sulfate de cuivre; et c'est là *en pratique* un gros avantage de la bouillie bourguignonne. On verra ci-dessous, dans le travail de M. Fonzes-Diacon, les quantités de carbonate de soude correspondant à 1 kilog de sulfate de cuivre, suivant le type de bouillie qu'on désire obtenir.

« La première formule proposée par Masson, écrit M. Fonzes-Diacon, renfermait un excès de carbonate de soude, c'était une bouillie alcaline; mais comme les bouillies bordelaises employées au début étaient également alcalines, on peut dire que la différence entre ces deux types de bouillies résidait en ce que, dans le premier, le composé cuprique insoluble était constitué par de l'hydrocarbonate de cuivre bleu,  $\text{CO}^2\text{Cu} \cdot \text{CuO} \cdot 2\text{H}^2\text{O}$ , alors que, dans le second, il répondait à la formule de l'hydrate de cuivre bleu  $\text{CuO}^2\text{H}^2$ .

» En étudiant les diverses bouillies bourguignonnes neutres, acides ou alcalines, nous montrerons combien leur composition peut s'éloigner de celle du type primitif indiqué par Masson.

» *Bouillies bourguignonnes neutres.*— Par définition, une telle bouillie ne doit renfermer ni excès de sulfate de cuivre, sel dont la réaction est acide, ni excès de carbonate de soude qui se comporte comme une base vis-à-vis des réactifs témoins tels que le tournesol ou la phénolphthaléine.

» Théoriquement, la formule suivante traduit l'action du carbonate de soude sur le sulfate de cuivre lorsque les conditions précitées sont réalisées :



» En réalité, le précipité gélatineux bleu clair qui prend naissance dans cette réaction n'est pas du carbonate neutre de cuivre,  $\text{CO}^2\text{Cu}$ , mais bien un hydrocarbonate, résultant de la disso-

ciation partielle de ce dernier avec dégagement de gaz carbonique et répondant à la formule  $\text{CO}^2\text{Cu}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $2\text{H}^2\text{O}$  :



» Le gaz carbonique ainsi mis en liberté, reste partiellement en solution et dissout un peu de carbonate de cuivre en formant un bicarbonate qui, par la suite, se décompose lentement à l'air.

» Au point de vue des quantités des deux sels qui réagissent l'un sur l'autre en donnant une telle bouillie neutre, cette équation permet de calculer qu'un kilogramme de sulfate de cuivre cristallisé sera intégralement précipité par 425 gr. 7 de carbonate de soude pur et sec.

» Comme dans la pratique courante, le viticulteur emploie du carbonate de soude sec industriel — que l'on désigne souvent sous le nom de soude Solvay — à 90 p. o/o de pureté, il devra en employer 470 gr. pour la même quantité de sulfate de cuivre, sel que l'industrie fournit à 99 p. o/o de pureté.

» *Mais, en réalité, si les choses se passent bien ainsi quand on verse, dans la solution de carbonate de soude, le sulfate de cuivre dissous dans l'eau pure, il n'en est plus tout à fait de même quand l'opération s'effectue en sens inverse.*

» Pour préciser, dans un premier essai, faisons tomber, goutte à goutte, la solution de sulfate de cuivre dans la solution de carbonate de soude, nous constaterons que cette dernière est alcaline tant que la totalité de la solution cuprique n'a pas été versée.

» Que si maintenant, dans un deuxième essai, nous laissons tomber, avec les mêmes précautions, la solution de carbonate de soude dans celle de sulfate de cuivre, nous pourrions constater que la neutralité de cette dernière est atteinte lorsque la proportion de carbonate de soude est voisine de 319 gr. 27 ; nous pouvons d'ailleurs continuer à ajouter la solution de carbonate de soude jusqu'à ce que les 425 gr. 7 quelle renferme aient été employés sans que la réaction devienne alcaline.

» Que s'est-il donc passé dans ce deuxième mode opératoire —

(toujours suivi dans la pratique des préparations des bouillies cupriques) — qui puisse expliquer un tel phénomène.

» Ici, il faut faire entrer en jeu la propriété que présentent les sels de cuivre en général et le sulfate en particulier, de former avec la plus grande facilité des sels basiques. Les auteurs qui ont étudié la composition chimique de la bouillie bordelaise y ont signalé l'existence de toute une série de sulfates basiques ; c'est ainsi que, d'après Pickering, suivant les conditions de préparation, cette bouillie pourrait renfermer les sulfates basiques suivants :  $\text{SO}^{\text{I}}\text{Cu}$ ,  $3 \text{ CuO}$  —  $\text{SO}^{\text{I}}\text{Cu}$ ,  $4 \text{ CuO}$  —  $\text{SO}^{\text{I}}\text{Cu}$ ,  $9 \text{ CuO}$ . Tous ces composés renferment en outre une certaine proportion d'eau et se présentent sous l'aspect de précipités bleus ou verts.

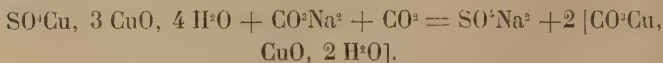
» Or, j'ai pu constater, par des expériences personnelles, que, dans la bouillie bourguignonne, l'un de ces sulfates basiques prend facilement naissance ; c'est celui qui répond à la formule  $\text{SO}^{\text{I}}\text{Cu}$ ,  $3 \text{ CuO}$ ,  $4 \text{ H}^{\text{o}}\text{O}$  ou encore  $4 \text{ CuO}$ ,  $\text{SO}^{\text{I}}$ ,  $4 \text{ H}^{\text{o}}\text{O}$  et que l'on désigne alors sous le nom de sulfate tétracuvrique.

» Ce sulfate basique se précipite quand on verse *lentement* du carbonate de soude dans une solution de sulfate de cuivre ; l'équation chimique suivante rend compte de sa formation :



» Or, cette formule permet de calculer que 1 kilogr. de sulfate de cuivre cristallisé sera précipité en totalité à l'état de sulfate tétracuvrique bleu quand 319 gr. 27 de carbonate de soude pur et sec auront été employés, quantité correspondant à 351 gr. 2 de soude Solvay.

» A ce moment, la neutralité de la bouillie sera donc atteinte, mais si on continue à ajouter peu à peu la solution de carbonate de soude, ce sel réagira sur le sulfate basique insoluble qui a pris naissance en premier lieu et le décomposera en donnant, en fin de réaction, de l'hydrocarbonate bleu comme dans le premier cas :



» Ce n'est que lorsque cette dernière réaction aura eu intégralement lieu, qu'un excès de carbonate de soude manifestera sa

présence en faisant virer au rouge une bande de papier imprégnée de phénolphthaléine.

» En réalité, la précipitation intégrale du sulfate de cuivre à l'état de sulfate tétracuvrique est une conception plutôt théorique ; dans la pratique, le précipité qui prend naissance au début de la réaction répond parfaitement à cette composition, mais, au fur et à mesure que la concentration de la liqueur cuprique va en diminuant, il se forme un peu d'hydrocarbonate de cuivre dont la proportion va en augmentant jusqu'à la fin de la réaction.

» De sorte que la neutralisation de la solution cuprique correspondra à une proportion de carbonate de soude comprise entre 319 gr. 27 et 425 gr. 7 et d'autant plus voisine de la première de ces valeurs que l'opération aura été conduite avec plus de précautions.

A titre d'exemple, je citerai l'expérience suivante : dans une solution renfermant 50 gr. de sulfate de cuivre cristallisé pour 500 cc. d'eau, je fais tomber goutte à goutte, une solution de 45 gr. 95 de carbonate de soude pur et sec dissous également dans 500 cc. d'eau ; ces proportions sont telles que le sulfate de cuivre devrait être précipité en totalité à l'état de sulfate tétrabasique.

Mais après chaque addition de 100 cc. de la solution alcaline, j'arrête l'opération, je recueille le précipité formé, et après lavages j'en effectue l'analyse ; j'obtiens ainsi cinq précipités dont la composition variable permet de suivre la marche de l'opération.

Or, alors que les deux premiers précipités présentent la composition du sulfate tétrabasique pur, le troisième en contient 80 pour 100, le quatrième 75 pour 100 et le cinquième n'en renferme plus que 31 pour 100.

» En résumé, on peut obtenir deux bouillies bourguignonnes *neutres* en versant très lentement, et en proportions différentes, une solution diluée de carbonate de soude dans une liqueur de sulfate de cuivre ; mais la première de ces bouillies sera presque exclusivement constituée par du *sulfate tétracuvrique*, alors que

la composition de la seconde répondra principalement à celle d'un *hydrocarbonate de cuivre*.

» L'étude de l'action anticryptogamique de ces deux composés insolubles du cuivre permettra de mettre en évidence l'importance de ce fait.

» *Bouillies bourguignonnes acides*.—On doit considérer comme bouillies acides toutes celles qui renferment un excès de sulfate de cuivre en solution.

» La formule de la neutralisation théorique nous a montré qu'un kgr. de sulfate de cuivre est intégralement précipité, à l'état d'hydrocarbonate bleu, par 425 gr. 7 de carbonate de soude pur et sec ; mais, j'ai démontré que, par suite de la formation de sulfate tétracuvrique, il suffisait d'une dose voisine de 319 gr. 27 de ce sel pour obtenir la neutralisation.

» Il s'en suit que, pour préparer théoriquement une bouillie acide, il faudra verser peu à peu, dans une solution de 1 kilogr. de sulfate de cuivre, cristallisé, moins de 319 gr. 27 de carbonate de soude pur et sec.

» Si on a soin de ne verser que très lentement la **solution étendue** de carbonate de soude dans la **solution concentrée** de sulfate de cuivre, le précipité bleu clair qui prendra naissance sera, formé en majeure partie de sulfate tétracuvrique répondant à la formule  $\text{SO}^{\cdot}\text{Cu}$ ,  $3 \text{ CuO}$ ,  $4 \text{ H}^{\cdot}\text{O}$ .

» La composition du précipité bleu ainsi obtenu sera d'autant plus voisine de celle du sulfate tétracuvrique que l'excès de sulfate de cuivre sera plus grand, c'est-à-dire que la bouillie sera plus fortement acide.

» Pour montrer l'importance de la concentration relative des deux solutions cuprique et alcaline, je ne puis mieux faire que de citer les expériences suivantes : en faisant tomber goutte à goutte, une solution de 6 gr. 38 de carbonate de soude pur et sec pour 500 cc. d'eau dans une solution de 20 gr. de sulfate de cuivre cristallisé *dans le même volume d'eau* ; le précipité obtenu renferme environ 60 o/o de sulfate tétracuvrique.

» Que si l'on fait dissoudre le même poids de sulfate de cuivre dans 900 cc. d'eau et le carbonate de soude correspondant dans



100 cc. d'eau, la solution alcaline tombant goutte à goutte dans la liqueur cuprique donne naissance à un précipité qui ne renferme plus que 50 o/o de sulfate basique; enfin, si le sulfate de cuivre étant dissous dans 100 cc. d'eau, on y fait tomber, avec les mêmes précautions, le carbonate de soude dissous dans 900 cc. d'eau, le précipité bleu qui se forme renferme 75 o/o de sulfate tétracuvrique.

» Si la précipitation était effectuée dans l'ordre inverse, la composition du précipité ne serait plus du tout la même.

» Quand on verse, en effet, avec la même lenteur, dans une solution diluée de carbonate de soude — 4 gr. dans 500 cc. d'eau — une solution renfermant une forte proportion de sulfate de cuivre — 20 gr. dans 500 cc. d'eau — il se forme au début, le carbonate de soude étant alors en excès, un précipité d'hydrocarbonate de cuivre bleu. Mais celui-ci, une fois formé, ne se combine plus avec la même facilité à l'excès de sulfate de cuivre en présence duquel il se trouve par la suite, et le précipité obtenu en fin de réaction, bien qu'ayant un aspect semblable, est, en réalité, comme le montre l'analyse, non du sulfate basique pur, mais bien un mélange en proportions variables de sulfate tétracuvrique et d'hydrocarbonate de cuivre bleus (65 p. o/o du premier dans l'expérience précitée à 13°).

» Que sur ce précipité, séparé par décantation, on verse de l'eau chaude et l'on constate qu'il perd rapidement son aspect homogène; il se sépare en une partie bleue, légère, facile à mettre en suspension et en une partie lourde, de couleur verte, restant au fond du récipient.

» Le précipité bleu, léger, est du sulfate tétracuvrique, le corps vert, grenu, résulte de la deshydratation partielle de l'hydrocarbonate bleu qui s'est transformée par la chaleur, en malachite répondant à la formule  $\text{CO}^3\text{Cu}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{H}^2\text{O}$ .

» Donc, le précipité floconneux qui se forme dans une bouillie vraiment acide — pour 1 kilogr. de sulfate de cuivre, moins de 320 gr. de carbonate de soude pur et sec — et préparée avec lenteur est, en majeure partie, constituée par du sulfate tétra-

cuivrique. Voyons maintenant quelle sera la composition de la liqueur acide surnageant ce précipité.

» Il est de toute évidence qu'elle renfermera surtout du sulfate de cuivre, en excès d'autant plus grand que la proportion de carbonate de soude employée sera plus éloignée de la dose maximum de 320 gr.; mais elle renferme encore, en quantité fort appréciable, un composé cuprique, dissous à la faveur de l'acide carbonique qui prend toujours naissance dans cette réaction, et qui est, non du bicarbonate de cuivre comme on l'a écrit fort souvent, mais bien du sulfate tétracuvrique, ou mieux les éléments qui permettent sa formation. Ce sulfate basique se sépare en effet de la solution, au fur et à mesure que se dégage l'acide carbonique dissous, sous la forme d'un précipité tantôt bleu, auquel l'analyse permet d'attribuer la formule  $\text{SO}^4\text{Cu}$  3  $\text{CuO}$ , 5  $\text{H}^2\text{O}$ , tantôt vert de formule  $\text{SO}^4\text{Cu}$ , 3  $\text{CuO}$ , 4  $\text{H}^2\text{O}$ .

» Le sulfate tétracuvrique en solution carbonique, existe dans toutes les bouillies acides en proportions d'autant plus grandes que, pour un même poids de sulfate de cuivre, la quantité de carbonate de soude est plus élevée, sans toutefois dépasser le maximum de 320 gr. de ce sel par kilogramme de sulfate cuprique; si, en effet, cette dernière dose est dépassée, le carbonate de soude réagit sur le sulfate de cuivre du composé tétracuvrique dissous à la faveur de l'acide carbonique et en précipite de l'hydrocarbonate de cuivre.

» Le sulfate tétracuvrique ne peut donc exister en solution que dans les bouillies acides et en proportion qui, dans la pratique, peut correspondre à une centaine de grammes de sulfate de cuivre cristallisé par hectolitre de bouillie à 1 kilogr.

» Ce sel basique ainsi dissous à la faveur de l'acide carbonique — nous en montrerons plus loin le rôle anticryptogamique — sera déposé par évaporation sur tous les points du végétal que pourront atteindre les gouttelettes de bouillie, ainsi d'ailleurs que le sulfate de cuivre libre en excès; mais alors que ce dernier, très soluble dans l'eau, pourra être entraîné par les premières eaux de pluies, le sulfate basique, qui y est insoluble, consti-

tuera, dans tous les replis des organes, une réserve de cuivre plus tard utilisée.

» On pourrait peut-être trouver là une explication du rôle anti-cryptogamique actif des bouillies acides mouillantes à faible tension superficielles : les gouttelettes, projetées sur les organes fructifères de la vigne, laissent déposer, là où elles tombent, le précipité insoluble qu'elles renferment, mais le sulfate basique en solution carbonique, se déposera partout où le liquide mouillant aura pu se glisser.

» En résumé, les bouillies bourguignonnes acides bien préparées sont constituées surtout par du *sulfate basique tétracuvérique* dont une partie reste en solution grâce à l'acide carbonique dégagé ; ce sulfate basique, en se déposant partout où se glissera la bouillie, pourra jouer un rôle des plus actifs dans la défense des organes fructifères de la vigne contre le mildiou.

» *Bouillies bourguignonnes alcalines.* — Celles-ci renferment un excès de carbonate de soude libre ; donc toute bouillie obtenue en versant, dans une solution de 1 kilogr. de sulfate de cuivre cristallisé, une quantité de carbonate de soude pur et sec supérieure à 425 gr. 7 (correspondant à 470 gr. de soude Solvay) entrera dans cette catégorie : elle rougira le papier à la phénolphthaléine ou bleuira le tournesol.

» Ici, le mode de préparation n'influe en rien sur la composition du précipité qui, dans tous les cas, c'est-à-dire dans quel ordre que s'effectue la précipitation, répondra à la formule de l'hydrocarbonate de cuivre gélatineux  $\text{CO}^2\text{Cu}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $2 \text{H}^2\text{O}$ .

» Mais, ainsi que l'ont signalé MM. Vermorel et Dantony à l'Académie des Sciences, en avril 1911, la composition du liquide surnageant ce précipité varie suivant que les deux solutions ont été versées l'une dans l'autre, d'un seul coup ou avec grande lenteur ; dans le premier cas, le gaz carbonique qui a pris brusquement naissance dans cette réaction, dissout une certaine proportion d'hydrocarbonate de cuivre, combinaison peu stable et qui se décompose ensuite au fur et à mesure que le gaz carbonique se dégage dans l'atmosphère.

» Dans le second cas, le gaz carbonique se dégage presque en

totalité pendant l'opération et la liqueur, surnageant l'hydrocarbonate bleu, ne renferme que fort peu de bicarbonate de cuivre.

» Je dois faire remarquer que, si la bouillie était fortement alcaline, elle pourrait renfermer, en solution, une certaine quantité de carbonate de cuivre dissous à la faveur de l'excès de carbonate de soude, sous la forme de carbonate double de cuivre et de soude, mais une telle bouillie, trop fortement alcaline, pourrait n'être pas sans danger pour les organes de la vigne.

» En résumé, dans les bouillies alcalines, le précipité est principalement constitué par de l'*hydrocarbonate de cuivre gélatineux bleu*; la liqueur surnageante tient en solution une certaine proportion de bicarbonate de cuivre qui, par décomposition à l'air, abandonne un léger dépôt d'hydrocarbonate.

» *Propriétés générales des composés cupriques insolubles qui prennent naissance dans les bouillies bourguignonnes.* — Et maintenant que voici connue la composition des divers types de bouillies bourguignonnes, il convient d'étudier les propriétés physiques et chimiques de leurs deux principaux constituants : le sulfate basique tétracuvrique et l'hydrocarbonate de cuivre.

» Le sulfate tétracuvrique prend naissance quand on verse lentement une solution de carbonate de soude dans une solution de sulfate de cuivre en excès; il se présente sous l'aspect d'un précipité bleu clair, répondant à la formule  $\text{SO}_4\text{Cu}, 3\text{CuO}, 4\text{H}_2\text{O}$ ; la dessiccation, même à la température de  $100^\circ$ , ne diminue pas son degré d'hydratation, mais sa coloration passe au vert clair. Comme tous les composés cupriques, il est soluble dans l'ammoniaque dont l'atmosphère renferme des traces, de sorte que l'eau de pluie ou de rosée peut solubiliser, par l'intermédiaire de ce gaz, de minimes quantités de sulfate basique insoluble dans l'eau pure.

» Mais, la solubilité du gaz ammoniac dans l'eau est tellement grande, qu'il suffit d'une forte pluie pour en débarrasser l'atmosphère pendant quelque temps.

» Aussi le rôle le plus important, dans la solubilisation du sulfate basique, paraît appartenir au gaz carbonique qui existe

toujours en quantité sensiblement constante dans l'atmosphère ; ce gaz est, de plus, sans cesse exhalé par la respiration des organes verts de la vigne qui s'en trouvent ainsi en quelque sorte baignés.

» Il y avait donc grand intérêt à mesurer la solubilité **dans l'eau chargée d'acide carbonique** de cette combinaison cuprique insoluble dans l'eau pure.

» Or, cette solubilité est assez faible pour ne pouvoir être bien mise en évidence que par l'emploi de solutions saturées de ce gaz, telles par exemples que celles qui sont livrées dans des siphons sous le nom d'eau de Seltz.

» Evidemment ce processus s'éloigne de celui qui suit la nature, mais, lorsque l'on veut examiner les détails d'un très petit objet, n'est-on pas accoutumé à se servir d'une loupe ?

» J'ai donc fait agir de l'eau chargée d'acide carbonique successivement sur du sulfate tétracuvrique précipité récemment, d'abord lavé à l'eau froide, puis à l'eau chaude et enfin desséché à 100°.

» Par une action suffisamment prolongée, une partie du précipité entre en dissolution ; on constate ensuite que la poudre en excès, d'abord bleue ou vert clair et légère, prend une coloration plus verte qui va en s'accroissant jusqu'au vert malachite en même temps qu'augmente sa densité. C'est, qu'en effet, le sulfate basique en excès, corps soluble dans les acides sans dégagement gazeux, s'est transformé intégralement sous l'influence de l'acide carbonique, en hydrocarbonate vert que les acides dissolvent alors avec une vive effervescence.

» La solubilité du sulfate basique dans ce milieu carbonique va en diminuant au fur et à mesure que s'effectue cette transformation ; correspondant au début à 0 gr. 703 de sulfate de cuivre cristallisé par litre, elle tombe, après plusieurs traitements, à 0 gr. 0711, alors que la désintégration du sulfate tétracuvrique en carbonate vert a été complète.

» Le lavage à l'eau chaude ne diminue que très peu la solubilité du sulfate basique, la dessiccation à 100°, un peu plus fortement : 0 gr. 340 en sulfate de cuivre cristallisé.

» Les solutions carboniques, abandonnées à l'air, se troublent en laissant déposer du sulfate tétracuvrique.

» L'hydrocarbonate de cuivre gélatineux, qui prend naissance dans les bouillies alcalines et se forme également en proportions plus ou moins grandes dans les autres bouillies, est un précipité bleu clair, répondant à la formule  $\text{CO}^2\text{Cu}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $2\text{H}^2\text{O}$ .

» Mais il est loin d'avoir la stabilité du sulfate tétracuvrique ; il perd, avec la plus grande facilité, une partie de son eau, une molécule, en se transformant en hydrocarbonate vert ou malachite, répondant à la formule  $\text{CO}^2\text{Cu}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{H}^2\text{O}$ .

» Or, à cette modification de la couleur correspond un changement d'état physique ; le précipité, d'abord gélatineux et léger, devient grenu, lourd et sa solubilité dans l'eau saturée d'acide carbonique va en diminuant de plus en plus.

» Aussi convient-il d'étudier d'abord les conditions qui favorisent cette transformation d'un précipité léger, floconneux, restant longtemps en suspension — qualité excellente pour la bonne répartition d'une bouillie — en un corps lourd, grenu, qui se dépose très rapidement au fond des récipients.

» C'est d'abord la chaleur qui facilite cette déshydratation ; celle-ci commence vers  $30^\circ$ , température qui peut être souvent atteinte en été ; d'autre part, les réactions chimiques s'accompagnent toujours d'un dégagement de chaleur, de sorte que, si la bouillie n'est pas faite lentement et à l'aide de solutions diluées, l'échauffement en résultant facilitera la transformation de l'hydrocarbonate bleu, léger, en hydrocarbonate vert, lourd.

» La transformation est encore facilitée par addition d'hydrocarbonate vert déjà formé à l'hydrocarbonate bleu et, quand elle est amorcée, l'agitation la favorise.

» Enfin, il est un fait bien connu — invoqué d'ailleurs par les traités classiques pour condamner l'emploi des bouillies basiques — c'est qu'en milieu alcalin, la transformation du précipité bleu en précipité vert est beaucoup plus rapide,

» Les bouillies acides se conservent bien mieux, mais ne serait-



ce pas parce qu'elles renferment des proportions assez élevées de sulfate basique bleu beaucoup plus stable que l'hydrocarbonate ?

» Donc l'hydrocarbonate bleu se transforme avec la plus grande facilité en hydrocarbonate vert ; étudions maintenant la solubilité de ces deux formes dans l'eau saturée d'acide carbonique.

» Le composé bleu, lavé à l'eau froide, se dissout par agitation dans la liqueur carbonique, mais en proportion moins grande que le sulfate tétracuvrique ; sa solubilité correspond à 0 gr. 576 de sulfate de cuivre cristallisé ; lavée à l'eau chaude, il devient vert et sa solubilité diminue : 0 gr. 434 en sulfate de cuivre ; la dessiccation abaisse encore cette solubilité qui tombe à 0 gr. 166 en sulfate de cuivre correspondant à 0 gr. 041 de cuivre par litre. Il est à remarquer que Gayon et Millardet avaient trouvé une valeur presque identique, 0 gr. 040, pour la solubilité de l'oxyde de cuivre qui prend naissance dans la bouillie bordelaise.

» Enfin, par action prolongée de l'acide carbonique, la solubilité du carbonate vert va en diminuant encore jusqu'à n'être plus que de 0 gr. 0711 exprimé en sulfate de cuivre correspondant à 0 gr. 018 de cuivre métal.

» Si, maintenant, on compare les solubilités en milieu carbonique du sulfate tétracuvrique et de l'hydrocarbonate de cuivre, on constate que celle du premier de ces corps est plus grande, *et surtout plus constante*, que celle du second,

» Peut-être trouvera-t-on dans ce fait l'explication du peu d'efficacité de certaines bouillies bourguignonnes répandues pour tant depuis *un temps assez court* sur les organes de la vigne : l'hydrocarbonate de cuivre bleu, que renferment celles-ci en proportions d'autant plus grandes qu'elles sont plus alcalines, se serait transformé à l'air, assez rapidement, en *hydrocarbonate vert*, corps peu sensible à l'action solubilisante de l'acide carbonique de l'atmosphère. Ainsi s'expliquerait le discrédit dans lequel sont tombées les bouillies alcalines.

» Voici, du reste, une expérience qui va nous fixer encore mieux

sur la solubilité comparée, en milieu carbonique, des deux principaux constituants des bouillies bourguignonnes.

» Ayant préparé une bouillie acide en laissant tomber, peu à peu, un mélange de 10 gr. de sulfate de cuivre et de 3 gr. 94 de carbonate de soude pur et sec dans un litre d'eau — c'est ainsi qu'on opère avec les bouillies du commerce — j'ai obtenu un précipité bleu clair qui, séparé par décantation, a été mis en suspension dans de l'eau distillée.

» Après un abandon d'une vingtaine de jours, j'ai constaté que le précipité, d'abord léger et floconneux, n'était plus d'apparence homogène; il était constitué par une partie bleu clair, légère, facile à mettre en suspension et par une partie beaucoup plus dense, plus grenue, d'une coloration vert intense.

» Il fut aisé de séparer la partie la plus légère, par entraînement à l'eau, de la partie la plus lourde restant au fond du vase; la première était constituée principalement par du sulfate basique, la seconde renfermait surtout de l'hydrocarbonate vert.

» Or, par l'eau saturée d'acide carbonique, la solution obtenue avec le premier de ces corps renfermait 0 gr. 215 de cuivre représentant 0 gr. 849 de sulfate de cuivre cristallisé, alors que la solution du deuxième ne contenait que 0 gr. 078 de cuivre correspondant à 0 gr. 233 de sulfate.

» Cette expérience me paraît démontrer, avec une certaine éloquence, la supériorité du sulfate basique de cuivre sur l'hydrocarbonate comme réserve de cuivre mobilisable.

» Elle vient confirmer l'opinion de MM. Berlese et Sostegni, publiée dans la *Revue internationale de viticulture et d'œnologie* en janvier 1895, page 403, sur le rôle important que jouent, dans la bouillie bordelaise, les sulfates basiques; ces savants estimaient avoir démontré, par des expériences directes, la grande sensibilité de ces composés à l'action de l'acide carbonique de l'atmosphère, mais certains auteurs, et parmi eux M. Mouselise, n'admettaient pas cette action dissolvante du gaz carbonique.

» *Conclusions.* — De ces recherches de laboratoire sur la com-

position des bouillies bourguignonnes, peut-on tirer quelque enseignement pratique ?

» Il me paraît que les conclusions générales qui en découlent peuvent être ainsi formulées :

» La supériorité des bouillies acides, constatée par l'expérience, serait due non seulement à l'excès de sulfate de cuivre libre qu'elles renferment, mais encore à la présence, tant en dissolution que dans le précipité, de sulfate tétracuvrique, sel insoluble dans l'eau, mais très sensible à l'action solubilisante de l'acide carbonique de l'air.

» C'est également la présence de ce sulfate basique qui assurerait leur durée de préservation.

» Les bouillies bourguignonnes mouillantes — la mouillabilité étant à l'ordre du jour — devraient appartenir au type acide, car les bouillies alcalines ne renferment que peu ou pas de sulfate basique dans leur précipité et n'en contiennent pas en dissolution.

» Dans la préparation de ces bouillies acides, il convient de verser avec lenteur, dans la solution de sulfate de cuivre concentrée constamment agitée, la solution diluée de carbonate de soude.

» La dose de carbonate de soude Solvay — à 90 p. o/o de pureté — à faire réagir sur un kilogramme de sulfate de cuivre, devra varier entre 330 et 400 gr. pour obtenir une bouillie acide renfermant de 200 à 350 gr. environ de sulfate libre par hectolitre. » (1)

*Technique.* — On fait dissoudre le sulfate de cuivre dans n 10 litres d'eau, et le carbonate de soude à la dose indiquée plus haut (de 330 à 425 gr. par kilog de sulfate de cuivre) dans n 90 litres.

On verse lentement et en agitant vivement la seconde dans la première. On obtient ainsi une bouillie légèrement acide qui se conserve telle quelle assez longtemps.

Les bouillies alcalines se transforment rapidement et devien-

---

(1) FONZES-DIACON. *Recherches sur la Bouillie Bourguignonne*. Communication au Congrès viticole de Lyon, 1944.

nent bientôt inefficaces, surtout si la température est élevée. Elles doivent donc être employées aussitôt préparées.

**EAU CÉLESTE.** — Substituons au carbonate de soude de l'ammoniaque en excès de manière à redissoudre le précipité cuivrique formé tout d'abord. Nous obtenons un liquide d'un très beau bleu, qui est l'Eau céleste. Le cuivre est entièrement en solution, à l'état de sulfate de cuivre ammoniacal :  $\text{SO}_4\text{Cu}4\text{AzH}^3 + \text{H}^2\text{O}$ . Répandue sur les organes herbacés, cette solution laisse déposer, par évaporation, ce sel qui est très adhérent. L'eau céleste agit donc à la manière d'une bouillie et d'une solution. Elle est très efficace ; seulement, à titre très élevé, elle produit des brûlures assez marquées et, au titre où elle est inoffensive, elle est également moins active contre le mildiou. En général, elle est au titre de 1 o/o. Ce procédé est dû à M. Audouinaud.

**AMMONIURE DE CUIVRE.** — Versons maintenant, à plusieurs reprises et jusqu'à dissolution complète, de l'ammoniaque sur de la tournure de cuivre placée dans un entonnoir. Nous obtenons ainsi un liquide limpide, d'un beau bleu, qui est de l'ammoniure de cuivre, et qui, étant étendu d'eau de manière à le ramener au titre voulu : 250 gram. de cuivre par hectolitre, est employé pour combattre le mildiou. Le procédé à l'ammoniure de cuivre est dû à M. Bellot des Minières.

Les résultats sont un peu inconstants ; il est peut-être possible de les améliorer.

**PROPRIÉTÉS DES BOUILLIES. ADHÉRENCE.** — Une substance n'est suffisamment efficace qu'autant qu'elle persiste longtemps sur les organes qu'elle doit protéger ; elle doit donc y adhérer fortement, c'est-à-dire résister aux lavages produits par les pluies et à l'enlèvement occasionné par les vents.

Aussi a-t-on cherché à déterminer les qualités des bouillies en mesurant leur adhérence avec les corps sur lesquels elles sont répandues.

Le premier travail de ce genre est dû à M. Aimé Girard qui, en 1892, compara l'adhérence des préparations cupriques

les plus répandues, en les soumettant à des pluies artificielles d'une intensité et d'une durée calculées. Voici les résultats obtenus, exprimés en pertes o/o :

	Pluie d'orages de 22 minutes	Forte pluie de 6 heures	Pluie douce de 24 heures
Bouillie bordelaise à 2 o/o . . . . .	50.9	34.5	13.3
— bourguignonne . . . . .	19.7	15.9	7.7
— sucrée Perret . . . . .	11.2	0	0
Verdet . . . . .	17.2	17.3	10.2

La bouillie au saccharate de cuivre serait ici la plus adhérente.

MM. Guillon et Gouirand ont étudié d'abord l'adhérence sur une plaque de verre, puis sur des feuilles de vigne détachées de la souche. Ci-après les résultats qu'ils ont obtenus :

#### 1° ESSAIS SUR VERRE

CUIVRE RESTANT  
OU COEFFICIENT D'ADHÉRENCE  
p. % de cuivre déposé  
(la préparation étant appliquée immédiatement ou bien après un laps de temps de 3 et 24 heures.

DÉSIGNATION	Immédiate- ment	Après 3 heures	Après 24 heures
A. Bouillie bordelaise, à 2 % de sulfate de cuivre . . . . .	92.0	90.0	82.0
B. Bouillie bordelaise à la mélasse à 1 % . . . . .	74.0	66.0	56.0
C. Bouillie bordelaise à la gélatine, à 3 % . . . . .	90.0	89.0	86.0
D. Bouillie bourguignonne à 2 % de sulfate de cuivre et 2 % de carbonate . . . . .	80.0	74.0	0
E. Bouillie bourguignonne à 2 % de sulfate de cuivre et 3 % de bicarbonate . . . . .	80.0	72.0	0
F. Bouillie bourguignonne à 2 %			

de sulfate de cuivre et 3 % de savon.....	92.0	82.0	36.0
G. Bouillie bourguignonne à 2 % de sulfate de cuivre et 3 % de de carbonate de potasse.....	76.0	-	64.0
H. Bouillie bourguignonne à 2 % de sulfate de cuivre et 3 % de carbonate d'ammoniaque	82.0	—	traces
I. Eau céleste, à 2 % de sulfate d'ammoniaque pur alcalisé légèrement.....	64.0	58.0	56.0
J. Verdet basique à 2 %.....	53.7	—	51.2
K. Verdet neutre à 2 %.....	12.3	—	11.1

## 2° ESSAIS SUR FEUILLES DE VIGNE

A. Bouillie bordelaise neutre.....	35.5	—	32.8
A. Bouillie bordelaise à 2 % de sul- fate de cuivre, acide.....	33.7	—	—
B. Bouillie bordelaise à la mélasse, à 1 %.....	28.5	—	29.8
C. Bouillie bordelaise à la gélatine à 0,3 %.....	31.5	—	28.5
D. Bouillie bourguignonne à 2 % de carbonate.....	42.0	—	traces
D.' Bouillie bourguignonne à 4 % de carbonate.....	26.0	—	—
F. Bouillie bourguignonne à 2 % de savon.....	89.1	—	—
F.' Bouillie bourguignonne à 3 % de savon.....	93.6	—	25.8
G. Bouillie bourguignonne à 3 % de carbonate de potasse.....	37.1	—	29.3
H. Bouillie bourguignonne à 3 % de carbonate d'ammoniaque..	30.5	—	traces
I. Eau céleste à 2 % d'ammoniaque	16 0	—	
I. Eau céleste, à 3 % d'ammoniaque	38.6	—	9.6
J. Verdet gris.....	33.2	—	32.2
K. Verdet neutre, à 2 %.....	12.7	—	12.7
E. Bouillie à 2 % de bicarbonate de soude.....	72.0	—	traces



MM. Chuard et Porchet ont opéré autrement. Ils ont déterminé d'abord la quantité de cuivre dépensé par quatre traitements et ensuite, à l'automne, les quantités restées sur les feuilles. Voici les résultats de ces essais qui ont été faits dans diverses localités du canton de Vaud :

*Cuivre o/o restant sur les feuilles*

Parcelles	Verdet neutre —	Verdet adhérent —	Bouillie bourguignonne —	Bouillie bordelaise —
1	23.9	9.2	12.1	12.2
2	8.8	9.0	7.6	10.1
3	20.8	18.0	13.8	11.4
4	10.2	13.3	3.3	6.2
5	19.0	10.4	10.4	8.2
6	31.9	40.6	13.6	8.8
7	14.2	22.9	5.4	19.0
8	15.4	8.1	3.4	4.9
9	14.3	10.5	22.0	4.5
				15.3

C'est le verdet neutre qui, ici, persiste le plus longtemps sur les feuilles.

La méthode suivie par M. Gastine dans ses recherches sur la même question « consiste à distribuer sur des feuilles de vigne ou des glaces en verre, les divers produits cupriques à étudier et à rechercher ensuite, après l'action d'un lavage très énergique, la proportion de cuivre qui s'est maintenue adhérente par rapport à celle dépensée, le coefficient d'adhérence représentant le pourcentage de cuivre déposé ayant résisté au lavage ». Nous donnons ci-après à titre documentaire les résultats de ces longues et intéressantes expériences :

*Bouillies cupro-calcaires alcalines*

*Formule normale : 2 kilos sulfate de cuivre, 1 de chaux  
par hectolitre d'eau*

	Coefficient adhérent o/o de cuivre déposé	
	sur feuilles	sur verre
Bouillie préparée suivant le système habituel, c'est-à-dire en ajoutant le lait de chaux épais à la solution de sulfate de cuivre.....	1 <sup>er</sup> essai 82.10 2 <sup>e</sup> — 83.9 3 <sup>e</sup> — 88.4	80.9 84.9 83.8
Même formule, en dissolvant le sul- fate de cuivre dans 1/10 du volume d'eau, la chaux dans 1/10 également, mélangeant les solutions concen- trées et ajoutant ensuite les 8/10 d'eau.....	1 <sup>er</sup> essai 31.4 2 <sup>e</sup> — 29.0	25.8 27.0
Même formule en préparant la bouillie suivant le système américain.....	1 <sup>er</sup> essai 90.8 2 <sup>e</sup> — 93.0	90.7 90.0
Bouillie obtenue par le mélange de so- lutions diluées suivant le système américain, pulvérisée 6 heures après la préparation.....		85.8
La même pulvérisée 24 heures après la préparation .....		77.7
La même pulvérisée 48 heures après la préparation.....		75.0
Même expérience. Pulvérisation im- médiate.....		90.0
Pulvérisée après 24 heures.....		87.9
Pulvérisée après 48 heures.....		62.5
Bouillie préparée suivant le procédé américain, pulvérisée 6 heures après la préparation.....		85.7
La même soumise à un deuxième la- vage 24 heures après le premier....		63.5
La même soumise à un troisième la- vage 24 heures après le deuxième..		52.5
La même soumise à un quatrième la- vage 24 heures après le troisième...		50.6

*Bouillie bordelaise neutre*

Coefficient d'adhérence

—  
sur feuilles    sur verre

Formule 2 kilos sulfate cuivre le lait de chaux étant ajouté jusqu'à bleuis- sement du papier de Tournesol (vo- lume 1 hectolitre).....	1 <sup>er</sup> essai	66.2	79.8
	2 <sup>e</sup> —	74.0	77.0
	3 <sup>e</sup> —	76.5	8.07

*Bouillie neutre, 1<sup>er</sup> essai*

Pulvérisée immédiatement après la préparation .....	79.8
Pulvérisée 24 heures après la prépara- tion....	85.1
Pulvérisée 48 heures après la prépara- tion.....	69.5

*Bouillie neutre. 2<sup>e</sup> essai*

Pulvérisée immédiatement après la préparation .....	80.2
Pulvérisée 24 heures après la prépara- tion .....	65.7
Pulvérisée 48 heures après la prépara- tion .....	62.5

*Bouillie bordelaise acide*

Sulfate de cuivre 2 kilogs, chaux 400 grammes

Préparée suivant le système ordi- naire ..	50.5
Préparée avec solution étendue, pro- cédé américain.....	55.6

Coefficient d'adhérence  
sur feuilles    sur verre*Autres bouillies*

Bordelaise alcaline mélassée, formule Michel Perret, 2 kg. sulfate cuivre, 2 kg. chaux vive, 2 kg. de mélasse par hectolitre.....	91.10	92.7
--	-------	------

La même, neutre, en réduisant la proportion de mélasse à 1 kg., chaux pour neutraliser.....	75.10	84.6
La même que la précédente en mélangeant les solutions étendues au maximum.....	80.00	79.6
Bouillie sucrée. Sulfate de cuivre 2 kg. chaux 2 kg., saccharose 100 grammes	72 3	79.6
Bouillie cupro-calcaire à l'huile de lin, formule Condeminal. Sulfate de cuivre 2 kg., chaux, 1 kg., huile de lin 20 grammes pour 1 hectolitre.....	95.3	86 6
Bouillie au permanganate de potasse. Sulfate de cuivre 2 kg., chaux 0,5 kg., permanganate de potasse 100 grammes, pour 1 hectolitre.....	42.8	40.10

*Bouillies bourguignonnes*

1. — Bouillie cupro-sodique alcaline ou bouillie Masson ; Sulfate de cuivre 2 kg., carbonate de soude 2 kg., eau 100 litres préparée suivant le procédé habituel.....	1 <sup>er</sup> essai	74.3	72.2
	2 <sup>e</sup> —	74.0	72.0
2. — Bouillie cupro-sodique neutre. Sulfate de cuivre 2 kg., carbonate de soude 0 k. 940, eau litres 100. Mode de préparation usuel.....	1 <sup>er</sup> essai	75.0	73.0
	2 <sup>e</sup> —	77.0	75.0
3. — Bouillie cupro-sodique légèrement acide. Sulfate de cuivre 2 kg., carbonate de soude 0 k. 880, eau 100 litres. Mode de préparation usuel	1 <sup>er</sup> essai	56.0	51.0
	2 <sup>e</sup> —	57.0	50.0

*Bouillies acides*

- 4 — Bouillie cupro-sodique neutre préparée avec des solutions concentrées. Sulfate de cuivre 2 kg. dans 10 litres. Carbonate de soude 0 k. 940 dans 10 litres. Ces solutions mélan-

gées, le restant de l'eau, 80 litres, étant ajouté après mélange.....	72.9	66.6
4. — Bouillie cupro-sodique neutre pré- parée avec des solutions étendues au maximum. Sulfate de cuivre 2 kg. dans 50 litres. Carbonate de soude 0 k. 940 dans 50 litres. Les solutions versées simultanément dans un troi- sième vase, suivant la méthode amé- ricaine.....	85.0	78.5
6. — La même bouillie neutre, mé- lange des sels desséchés et pulvéri- sés, projeté lentement et en agi- tant dans 1 hectolitre d'eau.....	69.0	70.1

## INFLUENCE DU TEMPS

7. — Bouillie cupro-sodique neutre, for- mule ci-dessous, préparée suivant la méthode américaine, pulvérisée aus- sitôt après la préparation.....	78.3
La même pulvérisée 24 heures après préparation.....	54.0
La même pulvérisée 48 heures après préparation.....	27.0
8. — Bouillie cupro-sodique alcaline, formule ci-dessus, mode de prépara- tion ordinaire, pulvérisée immédia- tement... ..	72.8
La même pulvérisée 24 heures après sa préparation.....	53.4
La même pulvérisée 48 heures après préparation.....	25.8
9. — Bouillie cupro-sodique neutre, mode de préparation ordinaire, pul- vérisée immédiatement.....	74.0
Pulvérisée après 24 heures.....	65.0
— 48 — .....	nulle adhérence
10. — Bouillie cupro-sodique acide, mode de préparation ordinaire, pul- vérisée immédiatement .....	53.0

Pulvérisée après 24 heures.....		45.0
— 48 — .....		15.0
11. — Bouillie cupro-sodique alcaline, préparée en poudres sèches. Sulfate cuivre 2 kg., carbonate de soude 2 kg., les sels étant bien desséchés. Dé- layée lentement dans 1 hectolitre d'eau en versant peu à peu la pou- dre, pulvérisée de suite.....		79.7
La même après trois mois de conser- vation en boîte et en lieu sec, dé- layée de même et pulvérisée de suite.		63.0
La même après 2 mois de conserva- tion en boîte et en lieu sec, délayée de même et pulvérisée de suite.....		62.7
12. — Bouillie cupro-sodique neutre préparée en poudre sèche. Sulfate cuivre 2 kg., carbonate de soude 0 k. 940. Délayée immédiatement dans l'eau à raison de 2 o/o.....		74.7
La même après un mois de conserva- tion au sec et délayée de la même manière .....		60.0
La même après 2 mois de conservation		58.5
13. — Bouillie cupro-sodique neutre mé- lassée, sulfate cuivre 2 kg., carbo- nate de soude 0 k. 940 mélasse 2 kg., eau 1 hectolitre.....	70.7	68.3
14. — Bouillie cupro-sodique neutre sucrée. Même formule avec saccha- rose 100 grammes.....	74.2	75.2
15. — Bouillie cupro-sodique au savon. Sulfate cuivre 2 kg., carbonate soude 0 k. 880, savon 1 kg. dissous au préa- lable et ajouté après le mélange des solutions de sulfate de cuivre et de carbonate de soude.....	80.2	78.4
16. — Bouillie cupro-sodique au savon. Sulfate de cuivre 2 kg., carbonate soude 0 k. 400, savon mou vert 2 kg. ajouté comme ci-dessus.....	75.9	71.9



17. — Bouillie cupro-sodique à la colophane, de M. Rosensthiel. Sulfate cuivre 2 kg., carbonate soude 1 kg., colophane 250 gr. dissous au préalable dans le carbonate de soude à chaud.....	85.2	82.2
18. — Bouillie cupro-sodique neutre au permanganate. Sulfate cuivre 2 kg., carbonate de soude 0,940, permanganate de potasse 100 gr.....	73.4	75.1
19. — Bouillie cupro-sodique neutre à la gélatine. Sulfate cuprique 2 kg., carbonate de soude 0 k. 940, gélatine dissoute dans l'eau chaude et ajoutée à la bouillie, 100 grammes.....	97.3	80.0
20. — Bouillie cupro-sodique neutre à l'albumine. Même préparation et formule que ci-dessus. Albumine soluble du sang 100 grammes dissous à froid et ajoutée à la bouillie ?.....	78.9	80.0
21. — Bouillie cupro-sodique à la caséine. Même formule, la caséine du lait ou lactocolle, 100 grammes, étant dissous dans le carbonate de soude..	83.6	81.2
22. — Bouillie cupro-sodique au tanin. Même formule, tanin 100 grammes ajouté au carbonate de soude.....	68.3	72.0
23. — Bouillie cupro-sodique neutre au soufre mouillable. Soufre 4 kg.....	Impossible à pulvériser	
24. — Bouillie au savon de cuivre. Sulfate cuivre 2 kg., savon mou de potasse 4 k., en mélangeant les solutions de chaque. Magma très épais et consistant de savon de cuivre.....	Impossible à pulvériser	

Coefficient d'adhérence sur verre

<sup>1</sup> *Influence du temps*

25. — Bouillie cupro-sodique neutre mélassée, formule de l'essai n° 13, autre épreuve pulvérisée immédiatement..	69.0
--	------

Pulvérisée 24 heures après la préparation. .... .	25.0
Pulvérisée 48 heures après la préparation.....	8.2
26. — Bouillie cupro-sodique à la colophane, formule de l'essai n° 16, autre épreuve, pulvérisée immédiatement..	85.4
Pulvérisée 24 heures après la préparation .....	45.3
Pulvérisée 48 heures après la préparation.....	13.1
27. — Bouillie cupro-sodique à la gélatine, formule de l'essai n° 18, autre épreuve, pulvérisée immédiatement..	80.0
Pulvérisée 24 heures après la préparation .....	78.0
Pulvérisée 48 heures après la préparation .....	25.6
28. — Bouillie cupro-sodique à l'albumine, formule de l'essai n° 19, autre épreuve, pulvérisée immédiatement....	78.5
Pulvérisée 24 heures après la préparation.....	68.0
Pulvérisée 48 heures après la préparation.....	12.3
29. — Bouillie cupro-sodique à la caséine, formule de l'essai n° 20, autre épreuve, pulvérisée immédiatement..	82.3
Pulvérisée 24 heures après la préparation.....	61.4
Pulvérisée 48 heures après la préparation.....	—
Magma caseux impulvérisable.....	—
30. — Bouillie cupro-sodique magnésienne neutre. Sulfate cuivre 2 kg., sulfate de magnésie cristallisée 0 k. 125, carbonate de soude 1 k. 050, eau 1 hectolitre, pulvérisée immédiatement...	73.7
Pulvérisée 24 heures après la préparation.....	traces

Pulvérisée 48 heures après la préparation.....	adhérence nulle
31. — Bouillie cupro-sodique neutre à l'alumine. Sulfate cuivre 2 kg., sulfate d'alumine hydraté 0 k. 400, carbonate soude 1 k. 550. eau 1 hectolitre pulvérisée immédiatement.....	80.0
Même préparation autre essai pulvérisé immédiatement .....	78.5
Pulvérisée 24 heures après la préparation .....	59.5
Pulvérisée 48 heures après la préparation .....	23.5
32. — Bouillie cupro-sodique magnésienne neutre. Sulfate cuivre 2 kg., sulfate de magnésie anhydre 0 k. 200, carbonate soude 1 k. 020, pulvérisé immédiatement .....	78.6
Pulvérisée 24 heures après la préparation .....	6.8
Pulvérisée 48 heures après la préparation.....	adhérence nulle
33. — Bouillie cupro-sodique alumineuse neutre. Sulfate cuivre 2 kg., sulfate d'alumine anhydre 0 k. 200, carbonate de soude 1 k. 035, pulvérisée immédiatement .....	83.6
Pulvérisée 24 heures après.....	67.7
Pulvérisée 48 heures après.....	51.6
La même conservée en poudre sèche pendant 1 mois et pulvérisée aussitôt après délayage.....	60.5
La même 2 mois de conservation.....	57.6
34. — Bouillie cupro-sodique neutre au sulfate anhydre de soude, préparée aux poudres sèches mélangées : sulfate de cuivre 2 kilogs, carbonate 0 k. 940. sulfate de cuivre anhydre 0 k. 360, pulvérisée immédiatement .	74.0

Conservée pendant 1 mois puis pulvérisée aussitôt après délayage.....	61.0
Conservée pendant 2 mois, puis pulvérisée.....	56.0

Coefficient d'adhérence  
sur feuilles      sur verre

Par hectolitre d'eau :

Eau céleste. Sulfate cuivre 2 kg., ammoniacque à 22° 2 litres.....	57.8	56
Carbonate de cuivre ammoniacal par conversion. Sulfate cuivre 2 kg., carbonate de soude 0 k. 940, ammoniacque à 22°, 2 litres .....	76.2	56.3
Carbonate de cuivre comme ci-dessus en précipitant par le carbonate de soude le sulfate de cuivre, éliminant l'eau chargée de sulfate de soude, et dissolvant le carbonate de cuivre dans l'ammoniaque.....	55.5	54
Vert malachite (carbonate de cuivre) 890 gr. dissous dans l'ammoniaque...	36.7	35.8
Autre essai de vérification.....	35.2	33.3
Acétate de cuivre ammoniacal 1 k. 617, ammoniacque 1 litre.....	80.6	76.9
Formiate de cuivre ammoniacal 1 k. 814, ammoniacque 1 litre.....	82.7	80.4

*Bouillies spéciales*

Bouillie au carbure de calcium. Sulfate de cuivre 2 kg., carbure de calcium 0 k. 540 par Hl.....	81.7	77.8
Bouillie au sulfure de sodium. Sulfate cuivre 2 kg., sulfate de sodium 2 kg., par hectolitre d'eau .....	65.0	64.0

Les conclusions de M. Gastine sont les suivantes :

« L'ensemble de nos déterminations permet, dit-il, de classer parmi les plus adhérentes : la bouillie calcaire bordelaise alcaline, préparée suivant la méthode américaine; la bouillie cupro-calcaire

à la mélasse de Michel-Perret, mais en employant la formule originale de cet auteur, c'est-à-dire une forte proportion de mélasse et de chaux ; la bouillie cupro-calcaire à l'huile de lin de Condeminal. L'adhérence sur feuilles de ces bouillies atteint les coefficients élevés de 90 à 95 o/o du cuivre déposé dans les pulvérisations.

Les bouillies neutres calcaires offrent une moindre adhérence 75 à 80 o/o. Dans la bouillie acide, les coefficients tombent à 50-55 o/o.

Le mode de préparation a beaucoup d'influence sur cette valeur du coefficient d'adhérence qui peut tomber à des chiffres minimes lorsqu'on mélange des solutions de cuivre et de chaux concentrées.

Dans les bouillies cupro-calcaires, l'adhérence se conserve assez bonne pendant les premiers temps qui suivent la préparation. La bouillie à la mélasse formule Michel-Perret est, sous ce rapport, encore supérieure aux précédentes et conserve presque toute sa valeur au bout de 48 heures de préparation.

Les bouillies au carbonate de soude présentent une adhérence un peu inférieure aux précédentes. Le coefficient le plus élevé atteint 85 o/o pour la bouillie neutre préparée par solutions étendues suivant le système américain. Les bouillies alcalines sont moins adhérentes 72 à 75 o/o, comme aussi les bouillies préparées suivant les conditions habituelles, ou obtenues en versant dans l'eau les bouillies en poudres sèches, fraîchement préparées, 70 à 75 o/o. Si la date des préparations de ces poudres est un peu ancienne, le coefficient peut descendre à 50 o/o ou au-dessous. L'adhérence est très faible ou même nulle, lorsque les bouillies commerciales en poudre sont agglomérées par l'absorption de l'humidité.

Toutes ces préparations, à base de carbonate de soude, perdent rapidement leur adhérence en 24 et 48 heures, surtout si la température ambiante est élevée. Leur adhérence diminue dès les premières heures et peut arriver à 0 au bout de deux jours de conservation. Elles doivent donc être préparées à mesure des besoins et de préférence par le mélange des solution étendues et

séparées de sulfate de cuivre et de carbonate de soude dans les pulvérisateurs eux-mêmes, au moment de l'emploi. Les bouillies sèches au savon, au sucre dit de Michel-Perret (et qui n'en renferme que des traces), ne diffèrent pas quant à leur adhérence et à leur déchéance d'adhérence avec le temps, des bouillies simples cupro-sodiques.

Le verdet basique offre une adhérence très constante qui atteint 73 à 76 o/o. Les solutions ou plutôt émulsions préparées d'avance ne perdent que très peu d'adhérence avec le temps.

Le verdet neutre est bien inférieur aux produits précédents comme adhérence, ses coefficients variant de 50 à 52 o/o. La présence du sulfate de soude, s'il s'agit d'un verdet de cuvaïson obtenu avec l'acétate de soude, élève les coefficients à 58-63 o/o.

L'addition d'une dose suffisante de kaolin au produit précédent augmente encore notablement l'adhérence qui atteint 65 à 72 o/o. Le verdet neutre, rendu ammoniacal, a un coefficient d'adhérence encore supérieur 80 à 83 o/o.

Les préparations au verdet neutre, les préparations rendues ammoniacales, conservent intégralement leur adhérence. Parmi ces dernières, l'eau céleste ou sulfate ammoniacal de cuivre offre des coefficients de 56 à 58 o/o. Le carbonate ammoniacal de cuivre obtenu en ajoutant de l'ammoniaque à la bouillie bourguignonne ordinaire atteint 73 à 76 o/o. Le formiate de cuivre ammoniacal 82 à 83 o/o. »

Ces expériences ne sont malheureusement pas décisives. C'est qu'elles ont été faites dans des conditions qui ne sont pas celles de la pratique. La plaque de verre, la feuille morte ne sont pas l'équivalent de la feuille vivante. Celle-ci sécrète à sa surface des produits qui n'existent point sur les premières et notamment de l'acide carbonique, dont l'influence sur les dépôts de cuivre des bouillies ne peut être négligée.

Mais elles établissent en toute évidence que les bouillies doivent être employées aussitôt après leur préparation — et c'est ce qu'on fait d'habitude.



**MOUILLABILITÉ.** — **LES BOUILLIES MOUILLANTES.** — Le savon, la colophane sont aussi ajoutés aux bouillies pour en augmenter l'adhérence ou pour les rendre capables de mouiller et, conséquemment, de se fixer sur les grains de raisin.

**BOUILLIE AU SAVON.** — Les savons que l'on emploie sont des savons à la soude, très alcalins pour que leur solubilité dans l'eau soit complète et rapide. Ils sont en poudre.

Voici comment on opère : On fait d'une part une solution de sulfate de cuivre et, d'autre part, une solution de savon dans un peu d'eau et on verse celle-ci dans la première, en agitant, jusqu'à saturation complète. On obtient ainsi une bouillie bourguignonne, sur laquelle flotte une mousse épaisse formée d'acides gras. Ce sont ces acides gras, mis en liberté ou combinés au cuivre, qui doivent augmenter l'efficacité de la bouillie.

En fait, il n'en est rien, et il est à craindre qu'ils empêchent même le contact de l'eau de germination avec le cuivre.

Il ne semble pas que ce mode de préparation, qui a été indiqué par M. Lavergne, soit le meilleur. La bouillie ainsi obtenue ne mouille pas et son efficacité n'égale pas, d'après des expériences comparatives que nous avons faites, l'efficacité de la bouillie bourguignonne ordinaire.

Pour qu'elle soit mouillante, il faut que le savon soit en excès, et alors le prix de revient en est trop élevé.

Pour rendre les bouillies usuelles mouillantes, avec le savon, on les prépare comme d'ordinaire et on leur ajoute du savon jusqu'à ce que leur pouvoir mouillant soit suffisant.

Mais le savon présente de graves inconvénients ; il crispe les feuillages trop tendres, déprime la végétation des jeunes pousses, et retarde la maturité des fruits.

Il est maintenant remplacé par d'autres substances, telles que la gélatine, la caséine, les saponines, notamment celle du sapin-dus, la bile, etc., qui entrent dans la composition de diverses bouillies du commerce dont nous n'avons pas à parler ici.

La gélatine ne convient qu'aux bouillies acides : on peut donc l'ajouter au verdet neutre. Mais ses effets sont inconstants, sans

doute parce que sa composition est elle-même inconstante. La dose est généralement de 20 gr., par hectolitre de bouillie, qu'on fait dissoudre au préalable dans une petite quantité d'eau chaude.

L'emploi de la caséine a été proposé par MM. Vermorel et Danthony. Elle ne peut être ajoutée qu'aux bouillies alcalines, dont elle modifie la « viscosité superficielle ».



Fig. 47. — Souche d'Aramon traitée seulement sur les grappes, par une bouillie mouillante.

#### BOUILLIE BOURGUIGNONNE ALCALINE MOUILLANTE :

« 1° Dissoudre d'une part 2 kilos de sulfate de cuivre dans 10 litres d'eau;

2° D'autre part 1 kilo de carbonate de soude Solvay dans 40 litres d'eau.



Fig. 48. — Souche de Clairette traitée seulement sur les grappes, par une bouillie mouillante.

Dans la solution de sulfate de cuivre, on verse lentement, et en agitant, la solution de carbonate de soude, en même temps qu'on trempe, dans le mélange, un papier rouge de tournesol. Lorsque ce papier bleuit, on doit cesser de verser la solution de carbonate de soude. Il y a alors, dans la bouillie, un excès de carbonate de soude ; on a ainsi une bouillie alcaline. Porter ensuite son volume à 400 litres par une addition d'eau.

Pour rendre mouillante la bouillie ainsi préparée, ajouter un litre d'une solution de caséine D et agiter. La bouillie est prête.

Pour préparer la solution de caséine D, on dissout la caséine dans un liquide renfermant 100 grammes de carbonate de soude dissous dans un litre d'eau. Il faut procéder comme suit :

Ajouter à 50 grammes de caséine en poudre fine, un peu de la solution de carbonate de soude à 10 o/o, de façon à former une pâte, bien brasser, étendre cette pâte lentement par additions successives de petites quantités de la solution de soude, de façon à obtenir un litre de liquide. (On favorise la dissolution en chauffant légèrement ».)

**SAVON DE CUIVRE.** — MM. Vermorel et Danthony ont proposé l'emploi d'un savon de cuivre qu'on prépare de la manière suivante :

1<sup>o</sup> Dissoudre 500 gr. de sulfate de cuivre dans 50 litres d'eau.

2<sup>o</sup> Dissoudre 2.000 gr. de savon, exempt d'alcali, dans 50 litres d'eau et, à l'inverse de ce que l'on a toujours fait en pareille matière, verser la solution cuprique dans la solution savonneuse.

Soit parce que le cuivre est ici sous la forme de sel très peu soluble, soit parce que le titre de la bouillie est plutôt faible, la préservation du feuillage est insuffisante.

**BOUILLIE A LA COLOPHANE.** — La colophane est un mélange de divers acides gras.

Combinée à la soude, elle donne un savon qui sert à la préparation de la bouillie. La colophane surnage et donne une mousse épaisse persistante qui mouille bien les organes verts.

*Préparation.* — Dans 4 parties d'eau, on ajoute 1 partie de carbonate de soude ; on chauffe jusqu'à l'ébullition ; on ajoute alors 1 partie de colophane en poudre et on agite jusqu'à dissolution.

Ce savon est ensuite versé dans la solution de sulfate de cuivre, et on achève la saturation avec du carbonate de soude. Cette bouillie est due à M. Perraud. Elle a donné de bons résultats.

La bile convient pour toutes les bouillies.

Les liquides mouillants ont généralement une tension superficielle très faible, comme l'eau chaude, l'alcool, l'éther ; ils pénètrent par suite facilement, soit à l'intérieur des grappes, soit dans les duvets, et au lieu de rouler à la surface des organes herbacés sous la forme de gouttelettes sphériques, ils s'y étalent et adhèrent.

Leur emploi ne présente pas de très grands avantages quand il s'agit seulement de défendre les feuilles ; les bouillies usuelles sont généralement suffisantes.

Il n'en est pas de même s'il s'agit de traiter les grappes soit avant, soit après la floraison. Ici, les bouillies ordinaires n'adhèrent pas ; elles tombent à terre. Les bouillies mouillantes, au contraire, s'étalent en une couche continue sur toute la surface à protéger.

Le pouvoir mouillant d'une bouillie peut être mesuré de diverses manières : d'abord avec le compte-goutte. Quand l'eau donne 100 gouttes, une bonne bouillie mouillante en donne 140 à 160. Ou en observant l'ascension capillaire. Mais ces moyens supposent qu'il y a une relation étroite entre le pouvoir mouillant et la tension superficielle. En est-il toujours ainsi ?

Le mieux, dans la pratique, comme nous l'avons proposé il y a longtemps, est d'utiliser comme appareil de mesure l'organe à protéger : *le pouvoir mouillant est suffisant lorsque cet organe, plongé dans la bouillie, reste entièrement mouillé quand on l'en retire.*

Les bouillies mouillantes laissent beaucoup plus de cuivre que les autres sur les grappes et même sur les feuilles, ainsi qu'en témoignent les chiffres suivants :

1° 100 grammes de grappes traitées au verdet rendu mouillant par la bile renferment 0 gr. 4034 de cuivre calculé en sulfate.

100 grammes de grappes traitées au verdet ordinaire renferment 0 gr. 0044 de cuivre calculé en sulfate, soit 20 fois moins.

2° 100 grammes de feuilles traitées au verdet mouillant portent, après avoir reçu deux pluies de 2 mill., 0 gr. 4353 de cuivre calculé à l'état de sulfate.

100 grammes de feuilles traitées au verdet ordinaire renferment dans les mêmes conditions 0 gr. 0374, soit 4 fois moins.

Si l'écart entre ces dosages est plus grand pour les grappes, c'est que les difficultés de pénétration y sont très grandes et que, seules, les bouillies mouillantes peuvent les surmonter.

3<sup>o</sup> 100 grammes de feuilles traitées à la bouillie bordelaise mouillante renferment, calculé en sulfate de cuivre, 0 gr. 3698.

100 grammes de feuilles traitées à la bouillie ordinaire portent 0 gr. 3107 dans les mêmes conditions.

4<sup>o</sup> Les rafles de raisins traitées à la bouillie bordelaise mouillante renferment, au moment de la vendange, des traces très nettes de cuivre, décelables au ferrocyanure de potassium ; les rafles des grappes traitées avec la bouillie bordelaise ordinaire n'en portent aucune trace.

Du reste, ces données de l'analyse ne sont pas nécessaires pour établir la fixation du cuivre sur les grappes par les bouillies mouillantes ; l'observation, pendant le cours de la végétation, suffit.

**BOUILLIES SOUFRÉES.** — Dès le début de l'emploi des bouillies cupriques, on a cherché à combattre du même coup l'oïdium, en leur associant soit du soufre en poudre, soit des polysulfures. M. Coudere, Rougier, puis M. Guillon ont recommandé les premières ; MM. Mossé, Hugonenc, etc., les secondes.

Ces bouillies sont efficaces contre le mildiou ; mais elles ne dispensent pas de tout soufrage.

**TITRE DES BOUILLIES.** — Les premières bouillies à la chaux contenaient 8 kilos de sulfate de cuivre et 15 kilos de chaux. Elles furent bientôt réduites à 4, 3, 2, 1 kgr., de sulfate de cuivre, soit 1 kgr., 0 kgr., 750, 0 kgr., 500, 0 kgr., 250 de cuivre. A 250 grammes de cuivre, elles sont généralement suffisantes.

Pour parer à toute éventualité, on peut aller jusqu'à 500 gr., et cette teneur en cuivre pur est suffisante pour toutes les bouillies.



Cependant, quand il s'agit de traiter les grappes qui doivent • porter le plus de bouillie possible, il serait bon de faire usage de bouillies contenant 750 à 1.000 grammes de cuivre pur. Le titre des solutions de sulfate de cuivre ne peut guère malheureusement s'élever au dessus de 125 grammes de cuivre.

POUDRES. — Les bouillies présentent le grave inconvénient d'entraîner une grande consommation d'eau et, conséquemment, d'être d'un emploi coûteux. Il n'en est pas de même des poudres, seulement leur activité est beaucoup moindre. C'est ce qui résulte des expériences qui ont été faites à l'Ecole de Montpellier et ailleurs. A quoi cela tient-il ? 1° A ce que les particules de cuivre ne forment pas des couches continues sur les organes à protéger ; 2° à ce qu'elles n'ont aucune adhérence, les pluies les enlèvent facilement, de même que les vents. Cet inconvénient est surtout marqué pour celles qui ne renferment que du cuivre insoluble : poudres à oxydes de cuivre, etc., etc. ; il est moindre pour les autres, car le cuivre dissous n'est pas totalement entraîné avant d'avoir pu agir, et une partie étant retenue par la cuticule.

En somme, l'action des poudres cupriques ne peut être suffisante que lorsque les invasions sont peu intenses et se produisent plutôt dans l'eau de rosée, de brouillard, que dans l'eau de pluie. Elles sont, au moins jusqu'à maintenant, insuffisantes pour prévenir les fortes invasions. On ne peut donc pas compter entièrement sur elles.

Néanmoins, il est bon d'en faire usage, pour protéger les feuilles, et surtout les grappes. Celles-ci, en effet, ne retiennent pas les bouillies ; elles fixent beaucoup mieux les poudres qui doivent être employées, par suite, comme traitement *complémentaire*.

Sur les feuilles, leur action est inférieure et de beaucoup à celle des bouillies, surtout pour les invasions tardives ; nous en avons indiqué les raisons.

On peut cependant les employer pour défendre le feuillage et toute la plante ; c'est en cas d'extrême urgence, c'est-à-dire

quand il importe que tout le vignoble soit rapidement recouvert de cuivre. Alors, pendant qu'une partie du personnel emploie les bouillies, une autre partie peut employer les poudres sur les vignes qui ne recevront les bouillies que plus tard. Et ainsi les poudrages sont intercalés aux sulfatages : ce sont des traitements *supplémentaires*. Il est tout à fait inutile de poudrer *immédiatement* avant ou après un sulfatage.

**SULFATINE.** — Mélange de soufre et de sulfate de cuivre pulvérisé et préconisé, dès 1884, par M. Estève. Teneur en sulfate de cuivre : 10 o/o, soufre 90 o/o.

**STÉATITES CUPRIQUES.** — Mélange de talc (silicate de magnésie) et de sulfate de cuivre. Le talc est en poudre très fine, blanche, onctueuse au toucher. « Elle est surtout remarquable par sa finesse extrême, par sa divisibilité pour ainsi dire indéfinie ; un centimètre cube de cette poudre renferme un nombre incalculable de fragments : de six à sept milliards. »

En malaxant cette poudre avec une solution saturée de sulfate de cuivre, on obtient une pâte qu'on peut passer facilement à la meule et au blutteur quand elle est séchée, de façon à lui faire reprendre son état physique primitif. Mais, dans cette opération, la poudre de talc, agent diviseur par excellence, amène une répartition infinitésimale du sulfate de cuivre. Chaque particule de talc est, en somme, théoriquement, enrobée par le sulfate de cuivre. Cette poudre a donc une action rapide, car elle contient du cuivre soluble, mais elle en contient aussi d'insoluble. Elle est très employée maintenant.

Il existe aussi des stéatites cupriques où le sulfate de cuivre en poudre extrêmement fine est simplement mélangé au talc ; elles sont également efficaces.

Le précipité de la bouillie à la soude ou à l'ammoniacale, séché, pulvérisé, peut être mélangé au soufre, au plâtre, au talc ; on obtient ainsi des poudres qui renferment du cuivre peu soluble et qui ne brûlent pas.

APPAREILS. — Les solutions ou les bouillies peuvent être répandues avec n'importe quel appareil : balai ou pulvérisateur. Le balai est abandonné à peu près partout,

Les pulvérisateurs à dos d'homme sont nombreux et font tous sensiblement le même travail ; la supériorité des uns sur les autres tient surtout à leur solidité et à des détails de construction.

Il y a lieu cependant de distinguer les pulvérisateurs à pompe des pulvérisateurs à pression indépendante. Les premiers exigent de l'ouvrier une action continue sur le levier de la pompe, qui lui enlève la disponibilité d'une main, l'autre main tenant le jet. En conséquence, il lui est impossible de soulever les feuilles pour viser les grappes. Mais ces appareils se chargent quand on veut, sans complication pour l'ouvrier qui les portent ; ils conviennent spécialement pour la petite propriété.

Les appareils à pression indépendante sont encore plus simples ; ils consistent essentiellement en un récipient en cuivre où sont refoulés et l'air et le liquide par une pompe spéciale et indépendante. L'obligation d'une pompe puissante fait qu'ils ne conviennent guère qu'à la grande propriété. Mais ils présentent le grand avantage de laisser une main libre à l'ouvrier avec laquelle il peut écarter le feuillage pour traiter les grappes ou l'intérieur du cep.

Les pulvérisateurs à grand travail sont « à dos de mulet » ou montés sur roues. Aux premiers, la pression est ordinairement donnée au préalable ; ils traitent deux rangs ou deux demi-rangs à la fois et sont commodes et pratiques. Le chargement est toutefois un peu long.

Aux seconds, la pression est donnée par les roues du véhicule qui les porte. Des jets fixes projettent le liquide sur une surface déterminée, verticale pour les vignes sur fil de fer, horizontale pour les vignes non palissées. Mais on peut leur adapter, par l'intermédiaire de longs tubes en caoutchouc, des jets mobiles que des ouvriers tiennent d'une main et dirigent sur le cep ; l'autre main restée libre peut écarter le feuillage.

JETS. — Les jets sont fixés à l'extrémité de lances en cuivre ou en aluminium dont la longueur varie de 1 mètre à 0 m. 30 ; les lances courtes conviennent pour traiter les raisins.

Il n'y a plus que deux sortes de jets : le Riley et le Gobet ; le second paraît s'engorger plus facilement que le premier. Mais cet inconvénient est peu à craindre si l'intérieur de la lance renferme un filtre métallique.

Ces jets donnent des gerbes plus ou moins évasées ; les gerbes doivent être étroites quand il s'agit de traiter spécialement les grappes, plus évasées quand il faut traiter l'ensemble de la souche.

EPOQUE ET NOMBRE DES TRAITEMENTS. — La première application des bouillies ou des solutions était jadis faite d'ordinaire trois semaines avant la floraison, la deuxième à la floraison, la troisième un mois après et la quatrième encore un mois plus tard.

Cette manière de procéder a donné souvent des résultats satisfaisants, mais elle est insuffisante quand la maladie se déclare et se développe avec intensité. On va voir pourquoi.

Au moment où l'on fait la première application des bouillies, la maladie peut, en effet, se déclarer, mais rien ne prouve qu'elle se déclarera. Il arrive souvent qu'elle n'apparaît qu'en juillet-août et quelquefois même seulement après la vendange. Le premier traitement est donc donné souvent en pure perte. L'époque à laquelle il est réellement utile coïncide avec la dissémination des zoospores sur les organes herbacés — ou la précède de quelques jours. Il doit donc, *comme les suivants du reste*, être *préventif, c'est-à-dire appliqué sur le feuillage à préserver avant que les germes que l'on veut atteindre l'aient contaminé.*

La vigne la mieux défendue est celle qui est traitée la veille de la contamination ; les vignes traitées plus tôt sont moins bien préservées, parce qu'elles portent des feuilles nouvelles nées après le traitement et, par suite, non couvertes de cuivre. Le nombre de ces feuilles est évidemment d'autant plus grand que le dernier traitement remonte à une date plus éloignée.

Si seulement ces feuilles non cuivrées étaient seules contaminables. Mais on peut les considérer comme étant les réceptacles de germes venus de n'importe où et qui s'y entassent. Sur les feuilles cuivrées l'entassement est sans importance, car tous périssent. Mais sur les autres, ils restent intacts et de là tombent, bien sains, sur les *grappes*, qu'ils envahissent.

Pour traiter en temps opportun, il faudrait connaître la date de la prochaine contamination. Or, pour qu'elle se produise, il faut deux choses : 1° des germes, conidies ou zoospores ; 2° de l'eau, ou si l'on préfère une pluie, une forte rosée ou un brouillard.

Si l'on admet provisoirement que les germes existent toujours, on n'a guère qu'à se préoccuper de l'arrivée de la pluie. La question devient donc celle-ci : est-il possible de prévoir *suffisamment* à l'avance l'arrivée de la pluie ?

Le Bureau central météorologique ne fait des prévisions que de la veille au lendemain. C'est insuffisant.

M. Capus prévoit l'arrivée des pluies dangereuses 4-5 jours à l'avance, mais on ne sait encore d'après quelle méthode précise.

M. Thouret, directeur de la Station viticole de Cognac, en se basant sur l'état de l'Océan à l'île d'Oléron, prophétise aussi avec succès 2-3 jours à l'avance.

M. Cazeaux-Cazalet, puis M. Charlot interrogent la vigne. Pousse-t-elle vigoureusement, ce dont on peut s'assurer en mesurant chaque jour l'allongement de quelques sarments ? Rien à craindre. Sa croissance est-elle ralentie ? Il y a danger.

Ces variations dans la vitesse de croissance des rameaux sont la conséquence des variations de même sens de la température : la croissance est rapide par température élevée ; elle se ralentit si la température s'abaisse. Or, la température *maxima* diminue souvent quand le temps se couvre, c'est-à-dire quand il tend vers la pluie ; de sorte que l'allure d'un thermomètre à maxima, ou mieux d'un enregistreur, nous renseignerait plus tôt que l'allure de croissance d'un rameau de vigne sur le temps à venir.

Seulement, tout abaissement de la température, comme tout

ralentissement de la végétation n'aboutit pas à la pluie. Cette méthode est donc incertaine.

Cependant, quand le temps «se détraque», quand la pluie est à craindre, *il convient* de hâter l'exécution des traitements.

Toute contamination est toujours due aux germes de l'invasion précédente; et généralement les conditions qui l'assurent sont aussi celles qui provoquent l'invasion, c'est-à-dire la *production des germes*. Si la prévision de l'invasion était possible, celle de la contamination le serait aussi.

Lorsque la maladie a une marche lente, et l'on sait dans quelles conditions il en est ainsi, les invasions sont précédées *n* jours à l'avance par l'apparition des « taches d'huile » ou taches provisoirement stériles; en 1913, ces taches ont apparu 5-6 jours avant les taches blanches, temps suffisant pour faire un sulfatage sur toute la vigne.

Mais souvent les taches d'huile manquent et c'est justement alors que la maladie est la plus grave. L'apparition des conidies peut-elle être annoncée par quelque autre indice? Elle peut être annoncée : 1° d'abord par les conidies elles-mêmes. Il suffit, pour cela, de réaliser autour des souches qui sont supposées atteintes, les conditions de température et d'humidité les plus favorables à leur apparition. On y arrive en couvrant quelques cepcs avec une cloche maintenue très humide à l'intérieur. L'apparition des conidiophores est ici l'annonce qu'une invasion extérieure est prochaine, *et l'on traite*. Il va sans dire que ces recherches doivent être faites sur des cepcs n'ayant pas reçu de traitement.

2° Elle peut être annoncée encore plus tôt par l'existence des germes, nous voulons dire des zoospores, qui la provoquent. On constate l'existence des germes du sol par un examen microscopique des feuilles, du reste choisies, portant des spores d'hiver et placées dans une vigne; et l'existence de ceux du dehors en les recueillant, non pas sur des plaques de verre, mais dans un large entonnoir placé sur un flacon et où viendront s'accumuler ensemble conidies et eau de pluie ou de rosée. Si ces conidies germent dans ces conditions, ce dont il est



facile de s'assurer, elles germent aussi sur les feuilles ; et une nouvelle invasion est désormais en route. *On traite.*

C'est aux stations d'avertissement ou aux propriétaires éclairés à donner ces indications, qui ne nécessitent du reste de l'attention que par temps de pluie ou de forte rosée.

Si l'on ne peut suivre ces méthodes, qui exigent de l'attention et un matériel suffisant pour traiter le vignoble en 4-5 jours au plus, on peut suivre la règle empirique suivante :

Les invasions les plus précoces ne sont dangereuses que lorsqu'elles peuvent atteindre les grappes. Tant que celles-ci sont cachées par les feuilles, le danger n'est pas très grand.

Par suite, le premier traitement doit être donné dès que les grappes se détachent nettement du bourgeon. Il devra porter autant sur les grappes que sur les feuilles, et *c'est ici que les bouillies mouillantes pourront rendre des services.*

Le deuxième traitement sera donné par exemple 15 jours plus tard ; il portera sur tout le feuillage.

Le troisième, un peu avant la floraison.

Le quatrième dès que la floraison sera presque achevée. *Ici encore, il conviendrait de traiter spécialement les grappes avec des bouillies mouillantes.*

Le cinquième, trois semaines plus tard, et le dernier lorsque la végétation est arrêtée — *si elle s'arrête* ; sinon, il pourra être avantageux, surtout pour assurer l'aoulement des sarments, de faire des traitements supplémentaires.

Entre tous les traitements qui précèdent la fin de la floraison, il serait bon d'intercaler des poudrages, qui valent des demi-sulfatages portant, bien entendu, sur le feuillage le plus jeune, c'est-à-dire sur les sommets des rameaux ; en faisant ainsi, le nombre des feuilles non cuivrées est réduit de moitié. C'est un résultat.

Si le feuillage était déjà atteint et les grappes intactes, il serait bon de poudrer celles-ci en même temps que les extrémités des rameaux.

---

## LE CUIVRE ET LE VIN

---

Qu'advient-il de la quantité relativement considérable de cuivre déposée dans les organes herbacés de la vigne ? Des analyses que nous avons empruntées à MM. Millardet et Gayon, vont nous renseigner sur ce point. On a trouvé :

### *Dans les feuilles fraîches*

	par kilogr.	
Cabernet franc .....	19 milligr.,	1
— Sauvignon .....	69 —	0
Malbec .....	93 —	0
Petit Verdot .....	24 —	0

### *Dans les sarments et souches*

Cabernet Sauvignon .....	10 milligr.,	0
--------------------------	--------------	---

### *Dans les rafles*

Cabernet franc .....	15 milligr.,	0
— Sauvignon .....	18 —	0

### *Dans les moûts*

Cabernet franc .....	1 milligr.,	4
— Sauvignon .....	1 —	2
Malbec .....	1 —	0
Petit Verdot .....	2 —	2

*Dans les raisins, le moût et dans le vin*

Nombre d'applications	Cuivre en milligr., par kilogr. de raisins	Cuivre en milligr., par kilogr. de moût	Cuivre en milligr., par litre de vin
3	5.9	4.2	0.10
3	12.6	11.8	0.10
3	6.0	5.8	0.30
2	2.4	2.3	0.01
2	1.9	2.1	0.01
2	1.9	2.0	0.08
2	1.8	1.5	0.01
2	2.4	1.7	0.10
2	2.1	1.3	0.01
5	6.5	6.3	0.15
5	4.8	3.3	0.20
5	9.7	3.6	0.15
5	9.8	3.2	0.08
5	5.0	3.4	0.05

*Vins de presse*

1 Bouillie bordelaise .....	9 milligr., 5
2 — — .....	0 — 01
3 — — .....	1 — 7
4 — — .....	0 — 05
5 — — .....	0 — 9
Eau céleste .....	0 — 35

*Vin de sucre*

Bouillie bordelaise .....	0 milligr., 3
— — .....	0 — 01
— — .....	0 — 25

*Dans les piquettes*

Bouillie bordelaise (plus. trait.)..	0 milligr., 01
id. ....	0 — 01
id. ....	0 — 01

Bouillie bordelaise aigre.....	0	—	05
— — aigre .....	0	—	5
— — .....	1	—	6
— — .....	0	—	7
— — .....	0	—	5

Des résultats semblables ont été obtenus en France par M. Bouffard et d'autres expérimentateurs. En Italie, M. Ravizza a trouvé par kilogramme de feuilles traitées 4 fois :

avec du sulfate de cuivre en poudre .....	0 gr. 039
— avec solution ammoniacale de cuivre à 2 o/o	0 018
— — — — — 16 o/o	0 814
— 2 fois avec bouillie bordelaise .....	0 0712
— 4 fois — — — — .....	0 469

*Dans les grappes (par kilog.)*

Barbera traitée avec cuivre en poudre.....	0 gr. 007
Cellerina — — — .....	0 007

*dans le vin (par litre)*

Vin de Barbera .....	0 gr. 0009
Vin de Cellerina filtré.....	0 0003
Vin de Cellerina clarifié .....	0 0004

*Dans les lies*

Lie de Barbera correspondant à 1 litre de vin...	0 gr. 0001
Lie de Cellerina .....	0 0009

*Dans le marc*

Barbera (calculé pour un litre de vin).....	0 gr. 0003
Cellerina .....	0 0006

*Dans la piquette*

Cellerina (par litre) .....	0 gr. 0018
-----------------------------	------------

Il résulte de ces analyses : 1° que le cuivre, à l'automne, est en quantité relativement faible sur les feuilles. Les raisins en

portent encore moins et cela ne doit pas surprendre. Le moût en contient presque autant que les raisins. Mais les vins, ce qui est curieux, et quelle que soit la teneur des moûts, n'en renferment que des traces. D'où cela provient-il ? De ce que le sel de cuivre est réduit par la fermentation, précipité à l'état métallique ou transformé en sulfure. — Les mares doivent en contenir une quantité assez élevée, qui ne passe pas dans le vin de sucre ou les piquettes, à moins que celles-ci ne soient acides, aigres.

Ces doses sont trop faibles pour nuire en aucune manière à la santé du consommateur.

---

## LE CUIVRE ET LA VÉGÉTATION

---

Les vignes bien défendues contre le mildiou, conservent leurs feuilles fort longtemps et ne les perdent qu'aux premières gelées, tandis que les vignes non traitées les perdent beaucoup plus tôt, qu'elles soient affectées par le mildiou ou non.

« Un fait d'observation commune, disent MM. Chuard et Porchet, depuis que les produits cupriques sont employés régulièrement dans les vignobles, c'est que de leur emploi est résulté une modification dans l'allure générale de la végétation, en ce sens que la durée de la période végétative semble prolongée : les feuilles demeurent plus longtemps vertes et les cepx s'en dépouillent avec une lenteur inaccoutumée... ».

C'est aussi l'opinion de Berlèse : « On sait, dit-il, que les feuilles de vignes traitées avec les remèdes cupriques acquièrent en peu de temps une teinte plus riche, deviennent plus rigides, plus robustes et se maintiennent plus longtemps sur la plante ».

M. G. Rumm a le premier cherché à vérifier et expliquer ce fait. En 1890, année remarquable par la rareté des parasites, il vit que les rangs de vignes traités contrastaient très nettement avec les témoins par la couleur verte de leur feuillage. La maturation eut lieu chez les premiers quatre jours plus tôt que chez les seconds. En 1893, deux groupes de rameaux de vignes furent, l'un sulfaté à plusieurs reprises dans le cours de la végétation et l'autre réservé comme témoin. Le 12 septembre, les grappes du premier groupe étaient mûres et les feuilles vertes ; celles du second étaient beaucoup moins avancées et les feuilles se fanèrent plus tôt.



M. Mangin, d'autre part, nous apprend que les horticulteurs emploient la bouillie bordelaise pour obtenir de belles plantes vertes.

Il semble donc bien établi qu'en dehors de son action sur les zoospores du *P. viticola*, le cuivre exerce une influence directe favorable sur la végétation. Quel est le mécanisme de cette influence? c'est ce que nous allons rechercher maintenant.

M. Rumm a, après de nombreuses recherches sur la vigne, conclu que l'action physiologique directe du cuivre sur la végétation se traduit par une augmentation de l'épaisseur du parenchyme, de la masse chlorophyllienne et une suractivité des tissus. Les corps chlorophylliens, dans les feuilles traitées, sont plus petits, plus nombreux que dans les feuilles témoins, moins lacuneux et partant plus riches en chlorophylle.

Or, l'analyse spectroscopique des cendres lui a montré que les feuilles traitées ne contiennent pas plus de cuivre que les témoins, et puisqu'il n'est pas fixé dans les tissus, son action est d'ordre chimiotactique.

M. Mangin montre que l'analyse spectroscopique est impuissante à nous renseigner exactement sur la teneur en cuivre des cendres; il admet que ce métal est fixé dans les feuilles, où il agirait sur le contenu cellulaire à la manière de ces poisons qui, à haute dose, sont toxiques pour l'organisme et ont une action favorable à faible dose.

MM. Franck et Kruger ont fait porter leurs recherches sur la pomme de terre. En comparant les parcelles traitées aux témoins, la couleur des feuilles, leurs extraits alcooliques chlorophylliens, ils arrivent aux mêmes conclusions que M. Rumm.

Pour M. Berlèse les feuilles n'absorbent que de très faibles quantités de cuivre; elles le retiennent non pas dans la cuticule, comme l'a admis M. Millardet, mais dans les tissus mêmes. Ses observations ne confirment pas non plus celles de M. Rumm, relativement au nombre et à la grosseur des grains de chlorophylle. La plus grande épaisseur des feuilles ne lui a pas paru non plus indiscutable. Toutefois, il a trouvé une plus grande intensité de la chlorophylle dans les vignes traitées que dans les témoins;

ce qui serait dû à une combinaison du cuivre avec la chlorophylle qui ferait apparaître plus de cyanophylle. Cet auteur accepte l'hypothèse de L. Mangin.

Alessandri admet que les sels de cuivre dissous, passent sous la cuticule et arrivent jusqu'aux vaisseaux ; qu'une partie est fixée par la chlorophylle, les tartrates, le tanin, etc., et il conclut de ses recherches que les solutions cupriques sont préférables aux bouillies parce qu'elles pénètrent et circulent plus facilement dans les tissus.

MM. Chuard et Porchet, ont soumis la question à de nouvelles études ; mais au lieu de faire porter leurs recherches sur la vigne, qui est exposée aux invasions du mildiou, ils se sont adressés à des végétaux « pour lesquels on puisse faire abstraction de l'action anticryptogamique du cuivre ». Ils se sont adressés aux groseillers, et ils ont obtenu des résultats qu'ils résument comme suit :

« Nous voyons par ces chiffres disent-ils, que le *traitement* à la bouillie bordelaise provoque une différence dans la *teneur* en sucre des fruits, différence en faveur du lot sulfaté ; nulle ou à peu près nulle au début de l'expérience, elle va en augmentant d'une façon régulière au fur et à mesure que les phénomènes de maturation se poursuivent. Cependant, cette augmentation n'atteint pas il s'en faut de beaucoup les chiffres cités par quelques auteurs, puisqu'elle *oscille* entre 1 et 2 o/o seulement ».

Quant aux feuilles, « si l'on prend la précaution de les laver soigneusement à l'acide chlorhydrique avant de leur faire subir un traitement quelconque, on constate qu'il n'y a plus de différence de coloration entre les feuilles témoins et celles qui ont subi l'action des sels de cuivre. Les extraits chlorophylliens préparés après ce lavage préalable ne se différencient plus en rien et sont de la même teinte pour les feuilles traitées et non traitées ».

La différence dans la teneur en sucre est bien faible ; elle rentre dans la limite des erreurs non de l'analyse, mais de l'échantillonnage, et on ne peut donc lui attribuer une grande importance. Au reste, elle peut s'expliquer par l'augmentation de

l'intensité de la couleur verte des feuilles qui, elle, n'est pas contestable. Mais d'où vient celle-ci ?

Le cuivre, on le sait, forme avec la chlorophylle une laque d'un beau vert et très stable ; une dose de 0 gr. 00025 de cuivre suffit pour donner à une solution étendue de chlorophylle une coloration verte plus foncée (d'après M. Chuard). Les choses se passent-elles ainsi sur les feuilles ? L'expérience de MM. Chuard et Porchet permettent de répondre non. Le cuivre ne pénètre pas dans la feuille et ne se combine pas à la chlorophylle. D'ailleurs, cette action chimique, une autre substance, le cadmium devrait la posséder au même degré, car il prolonge aussi la durée des feuilles et augmente l'intensité de leur coloration.

Dans nos essais de l'Ecole d'agriculture de Montpellier, le cadmium et le cuivre ont eu la même action sur le mildiou et sur la végétation.

Or, le cadmium n'exagère pas comme le cuivre la couleur d'une solution de chlorophylle.

Il faut donc chercher une autre explication.

Le mildiou n'est pas le seul parasite qui vive sur les feuilles de la vigne. L'oïdium s'y développe quelquefois sans y être apparent. Mais beaucoup d'autres champignons, demi-parasites, vivent aussi sur les feuilles et à leurs dépens, sans y faire des dégâts appréciables. Il est légitime de penser que leur rôle s'accroissant à mesure que la feuille vieillit, ils en hâtent l'épuisement. La moindre teneur en sucre des fruits, le changement de coloration à l'automne, trouvent là leur explication. Si cette explication est exacte, on doit trouver beaucoup moins d'organisme développés ou en voie de développement sur les feuilles sulfatées — au cadmium et au cuivre — que sur les témoins. Il en est ainsi. Nous avons compté par champ de microscope :

Feuille sulfatée au cuivre	Feuille sulfatée au cadmium	Témoin
—	—	—
3	1	17
4	5	24
2	3	22

germes en voie de développement ou organisme développés.

La différence est donc très marquée; et là réside toute entière l'explication des faits signalés plus haut. En somme le cuivre n'a pas d'action directe sur la végétation, il n'a qu'une action indirecte.

### LE CUIVRE DANS LE SOL

D'autre part, les traitements cupriques apportent au sol en moyenne 50-60 kil. de sulfate de cuivre par hectare et par an. On a pu craindre que la quantité accumulée finisse par devenir assez forte pour nuire à la végétation. Il pourrait en être ainsi dans les terrains dépourvus de chaux, mais ces terrains n'existent pas. Dans les autres, le cuivre est précipité à l'état d'oxyde et sous cette forme les vignes en supportent une haute dose. J'ai pu en faire vivre dans un sol qui avait reçu 45 kil. de sulfate de cuivre par mètre carré, soit 3000 fois plus que les traitements en apportent annuellement.

FIN

---

# TABLE DES MATIÈRES

---

## LE MILDIOU DE LA VIGNE

---

<b>Historique</b> .....	5
En Amérique .....	5
En France .....	6
Origine .....	7
<b>Caractères</b> .....	11
Feuilles .....	11
Bourgeons .....	20
Rameaux .....	20
Vrilles .....	23
Grappes .....	23
Grains .....	26
<b>Dégâts</b> .....	30
Feuilles .....	30
Moût .....	32
Vins .....	33
Souche et sarments .....	34
<b>Etiologie</b> .....	40
Les Zoospores .....	40
Le mycélium .....	43
Les suçoirs .....	44
Les conidiophores .....	45
Les conidies .....	47
Germination des conidies.....	49
Résistance aux intempéries .....	53
Pérennité du mycélium.....	55

Les spores d'hiver .....	55
La germination des spores d'hiver .....	57
Choix des matériaux .....	59
Développement .....	60
Les macroconidies .....	60
Germination des macroconidies.....	65
Germination des zoospores.....	68
Influence de la température .....	69
Contamination .....	70
Durée des facultés germinatives des spores d'hiver .....	72
 <b>Conditions de développement</b> .....	 73
Germination .....	74
Influence de la température .....	74
Influence de la congélation .....	76
Influence de l'humidité .....	77
Contamination .....	78
Influence de la température .....	83
Temps nécessaire à la contamination .....	87
Formation des Conidiophores (taches blanches) .....	92
Influence de la température .....	92
Influence de l'humidité de l'air .....	97
Influence du sujet sur la sensibilité du greffon au mildiou .....	102
Influence du sol .....	105
Influence de l'état de la surface du sol sur les conditions de développement du mildiou.....	106
Influence des cailloux .....	107
Influence de l'herbe .....	109
Influence de l'éloignement du sol .....	111
Influence des sulfatages .....	112
Réceptivité des espèces et variétés de vignes .....	112
 <b>Traitement</b> .....	 117
Destruction des conidiophores .....	117
Destruction des spores d'hiver .....	117
Destruction des conidies et zoospores .....	118
Les abris .....	119
Les toxiques .....	119
Le Cuivre .....	120
Mode d'action du cuivre .....	122



Solution de sulfate de cuivre.....	127
Verdet neutre .....	128
Verdet gris (ou vert de Montpellier). Préparation.....	129
Bouillie bordelaise .....	130
Préparation .....	130
Effet des différentes méthodes de mélange sur le dépôt des matières en suspension .....	131
Effet de l'agitation sur le dépôt des matières en suspen- sion .....	132
Expériences avec la chaux concentrée versée dans le sulfate de cuivre dilué.....	133
Expériences avec sulfate de cuivre versé dans la chaux diluée.	134
Discussion des effets de l'agitation .....	135
Structure physique du précipité .....	137
Composition de la bouillie bordelaise .....	139
Bouillie acide .....	142
Bouillie alcaline .....	143
Bouillie sucrée .....	143
Bouillie bourguignonne .....	143
Bouillies bourguignonnes neutres .....	144
Bouillies bourguignonnes acides .....	148
Bouillies bourguignonnes alcalines .....	151
Propriétés générales des composés cupriques insolubles qui prennent naissance dans les bouillies bourgui- gnones .....	152
Conclusions .....	156
Technique .....	157
Eau céleste .....	158
Ammoniure de cuivre .....	158
Propriétés des bouillies. Adhérence.....	158
Mouillabilité .....	173
Les bouillies mouillantes .....	173
Bouillies au savon .....	173
Bouillie bourguignonne alcaline mouillante .....	174
Savon de cuivre .....	176
Bouillie à la colophane .....	176
Bouillies soufrées .....	178
Titre des bouillies .....	178

Poudres .....	179
Sulfatine .....	180
Stéatites cupriques, etc., etc.....	180
Appareils ou Pulvérisateurs.....	181
Epoque et nombre des traitements .....	182
<b>Le cuivre et le vin</b> .....	186
<b>Le cuivre et la végétation</b> .....	190
Le cuivre dans le sol .....	194

---













